

**Luis Carlos Oliveira Tavares**

**Estudo dos betões utilizados na materialização do  
Muro-Cortina e dos Caixotões da obra “Expansão e  
Modernização do Porto da Praia – Fase 2”**

**Universidade Jean Piaget de Cabo Verde**

Campus Universitário da Cidade da Praia  
Caixa Postal 775, Palmarejo Grande  
Cidade da Praia, Santiago  
Cabo Verde

14.8.13



**Luis Carlos Oliveira Tavares**

**Estudo dos betões utilizados na materialização do  
Muro-Cortina e dos Caixotões da obra “Expansão e  
Modernização do Porto da Praia – Fase 2”**

**Universidade Jean Piaget de Cabo Verde**

Campus Universitário da Cidade da Praia  
Caixa Postal 775, Palmarejo Grande  
Cidade da Praia, Santiago  
Cabo Verde

14.8.13

Eu, **Luis Carlos Oliveira Tavares**, autor da monografia intitulada **Estudo dos betões utilizados na materialização do Muro-Cortina e dos Caixotões da obra “Expansão e Modernização do Porto da Praia – Fase 2**, declaro que, salvo fontes devidamente citadas e referidas, o presente documento é fruto do meu trabalho pessoal, individual e original.

Cidade da Praia aos 14 de Agosto de 2013

---

**/Luis Carlos Oliveira Tavares/**

Memória Monográfica apresentada à Universidade Jean Piaget de Cabo Verde como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Licenciatura Engenharia de Construção Civil - Variante Estrutura.

## Sumário

Nos últimos anos, tem-se verificado uma grande preocupação por parte dos profissionais da construção civil em relação ao fraco desempenho das estruturas de betão. Estudos apontam que uma das causas é a má qualidade do betão. Por isso, a maioria das evoluções registadas neste material esteja ligada à qualidade e durabilidade.

Cada vez mais, pretende-se construir estruturas de betão com qualidade e que sejam duráveis, por isso, a composição e as técnicas de produção do betão tem merecido uma importância crescente para atingir tal fim, uma vez que, elas influenciam directamente a qualidade e durabilidade do betão e, consequentemente, das estruturas.

Neste trabalho, fala-se do betão como um material de construção de grande relevância e importância no ramo da construção civil. Primeiramente, se debruça sobre os conceitos básicos relacionado ao assunto em questão, em seguida são apresentados fundamentos que evidenciam a sua importância no sector da construção civil e lhe asseguram como um dos materiais mais utilizados na construção. São descritas as suas características, propriedades, factores que influenciam a sua qualidade e alguns princípios a ter em conta quando se pretende atingir a sua qualidade.

Por último, foi realizado um estudo prático sobre os betões utilizados na obra “**Expansão e Modernização do porto da Praia – Fase 2**”, mais concretamente, os betões utilizados na execução do Muro cortina e dos Caixotões, desde da sua composição até ao processo de produção e colocação do betão em obra. Os resultados do estudo são apresentados e analisados sendo retiradas algumas considerações finais.

Segundo Eng. Jorge Patos, citado por Martins, A. (2011), falar ou escrever sobre a temática do betão significa abordar um assunto sobre o qual por mais que se saiba e estude, mais fica por saber e investigar.

## Abstract

In recent years, there has been a great deal of concern on the part of civil construction professionals in relation to the poor performance of concrete structures. Studies show that one of the causes is the poor quality of the concrete. So, most of the developments in this material is linked to quality and durability.

Increasingly, it is intended to build concrete structures with quality and durable, so, the composition and the production techniques of concrete has earned a growing importance in order to achieve this purpose, since they directly influence the quality and durability of the concrete and, consequently, of the structures.

In this work, there is talk of concrete as a construction material of great relevance and importance in the field of construction. First, deals with the basic concepts related to the matter at hand, then are presented that highlight the importance of fundamentals in the construction sector and ensure as one of most materials used in construction. Are described the characteristics, properties, factors influencing its quality and some principles to be taken into account when it wants to achieve its quality.

Finally, we conducted a practical study on the concrete used in "**Expansion and Modernization of the Port of Praia – Phase 2**", more specifically, the concrete used in the performance of the Curtain Wall and Caissons, since their composition to the production process and concrete placement in work. The results of the study are presented and analyzed being removed a few final thoughts.

According to Mr. Jorge Patos, quoted by Martins, A. (2011), speak or write on the subject of concrete means to approach a subject about which much is known and studied, more is to know and investigate.

## Agradecimentos

Primeiramete, a Deus, pelo Dom da vida.

Um obrigado especial, aos meus pais, Eunice Cabral Tavares e Carlos Alberto Tavares que, com amor e apoio incondicional que me concederam, me deu forças e corajem, o que permitiu a concretização desse sonho tão almejado, e também , aos meus irmãos, pela confiança depositada em mim, um muito obrigado!

Sou eternamente grato ao meu Clube de Futebol “Associação Académica da Praia”, pela oportunidade e apoio que me concedeu na realização do grau de Licenciatura em Engenharia de Construção Civil.

Manifesto o meu agradecimento, à todas as pessoas e instituições que, pelas informações e materiais me foram facultados, sem os quais, seria impossível a realização deste trabalho.

Um muito obrigado ao meu Orientador, Professor Mestre António Augusto Gonçalves, pela paciência, estímulo, orientação criteriosa e pela disponibilidade e rigor que se demonstrou ao longo da elaboração da monografia.

Um muito obrigado, à toda a minha família em geral e a todos os meus amigos, pelo todo o apoio que me concederam.

O meu reconhecimento e agradecimento, é extensivo, à Universidade Jean Piaget de Cabo Verde, pela oportunidade que me ofereceu para ingresso no curso de Engenharia de Construção Civil, o qual me permitiu adquirir conhecimentos indispensáveis ao desempenho das minhas funções presentes e futuras, enquanto profissional da área da Construção Civil.

.

À todos, o meu profundo agradecimento!

## Dedicatória

É com grande prazer e satisfação, que, através desta e de uma forma especial, dedico este trabalho aos meus pais, irmãos e a minha família em geral.



## Conteúdo

<b>Introdução.....</b>	<b>20</b>
1. Importância e Justificativa do assunto.....	20
2. Objectivos do trabalho.....	21
3. Metodologia.....	22
4. Estrutura do trabalho .....	23
 <b>Capítulo 1: Betão como material de construção – Fundamentação teórica .....</b>	<b>24</b>
1.1 Generalidades .....	24
1.2 Evolução histórica .....	26
1.3 Componentes do betão .....	29
1.3.1 Agregados .....	29
1.3.1.1 Classificação dos agregados .....	31
1.3.1.2 Características e propriedades fundamentais dos agregados .....	32
1.3.1.2.1 Características geométricas e granulométricas .....	32
1.3.1.2.2 Características mecânicas.....	34
1.3.1.2.3 Características químicas .....	35
1.3.2 Cimento .....	38
1.3.2.1 Tipos de cimento .....	38
1.3.2.2 Classes do cimento .....	40
1.3.2.3 Modificações a composição do cimento Portland – Aditivos .....	41
1.3.2.3.1 Pozolana .....	41
1.3.3 Água de amassadura .....	44
1.3.4 Adjuvantes .....	45
1.3.4.1 Classificação dos adjuvantes .....	46
1.4 Propriedades do betão.....	47

1.4.1	Betão fresco .....	48
1.4.2	Betão endurecido .....	49
1.4.2.1	Factores que influenciam a resistência mecânica do betão .....	50
1.5	Classificação do betão .....	53
1.5.1	Classificação normativa.....	53
1.5.2	Classificação segundo a NP EN 206-1 .....	55
1.5.2.1	Betão fresco.....	55
1.5.2.1.1	Classes de consistência.....	55
1.5.2.1.2	Classes relacionadas com a máxima dimensão do inerte .....	56
1.5.2.2	Betão endurecido .....	56
1.5.2.2.1	Classes de resistência à compressão .....	56
<b>Capítulo 2:</b>	<b>Estudo dos betões do Muro-Cortina e Caixotões .....</b>	<b>58</b>
2.1	Introdução.....	58
2.2	Caracterização geral da obra em estudo .....	58
2.2.1	Localização geográfica .....	59
2.2.2	Caracterização do meio .....	60
2.3	Estudo da composição dos betões de ligante hidráulico.....	61
2.3.1	Análise dos componentes dos betões.....	64
2.3.1.1	Agregados .....	64
2.3.1.1.1	Análise granulométrica.....	65
2.3.1.1.2	Determinação do teor dos fíos das areias .....	67
2.3.1.1.3	Determinação da massa específica aparente das areias.....	68
2.3.1.1.4	Peso específico e absorção de água das britas .....	69
2.3.1.1.5	Índice de lamelação e alongamento .....	70
2.3.1.1.6	Ensaio de desgaste “Los Angeles” .....	72

2.3.1.2	Ligante hidráulico .....	73
2.3.1.2.1	Cimento Portland tipo CEM II/A-L 42,5 R .....	74
2.3.1.2.2	Pozolanas de Santo Antão .....	75
2.3.1.3	Água .....	76
2.3.1.4	Adjuvantes .....	76
2.3.2	Formulação da composição dos betões .....	79
2.3.2.1	Método de Faury .....	79
2.3.2.2	Composição Ponderal dos betões .....	81
2.3.2.3	Resultados das resistências mecânicas – amassaduras laboratórias.....	81
2.3.2.4	Classe de teor dos cloretos.....	83
2.4	Métodos utilizados nas etapas de produção, transporte, colocação e vibração do betão em obra.....	84
2.4.1	Produção .....	85
2.4.1	Transporte .....	86
2.4.1	Colocação e vibração.....	87
2.5	Análise dos betões produzidos em obra .....	88
2.5.1	Ensaio realizado nos betões no estado fresco.....	88
2.5.1.1	Ensaio de abaixamento .....	88
2.5.2	Ensaio realizado nos betões no estado endurecido.....	90
2.5.2.1	Resistência à compressão.....	90
2.6	Processo construtivo do Muro-Cortina e Caixotões .....	92
2.6.1	Muro-Cortina .....	92
2.6.2	Caixotões .....	95
2.7	Durabilidade .....	98
<b>Conclusão.....</b>		<b>99</b>

<b>Bibliografia .....</b>	<b>101</b>
<b>Apêndices .....</b>	<b>103</b>
<b>A Análises dos componentes dos betões.....</b>	<b>103</b>
<b>A.1 Análises dos agregados .....</b>	<b>103</b>
<b>A.2 Curvas de Faury dos betões e dos agregados .....</b>	<b>103</b>
<b>A.3 Projectos de elementos estruturais álises dos agregados.....</b>	<b>103</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>104</b>
<b>B Procedimentos dos ensaios dos e ficha técnica dos componentes dos betões .....</b>	<b>104</b>
<b>B.1 Procedimentos dos ensaios realizados nos agregados e betões .....</b>	<b>104</b>
<b>B.2 Ficha técnica dos componentes dos betões .....</b>	<b>104</b>
<b>B.3 Guias de betões das estruturas.....</b>	<b>104</b>

## Figuras

Figura 1 – Barco em betão armado, autoria do francês Joseph-Louis Lambot, 1849. ....	27
Figura 2 – Umas das primeiras obras de expressão arquitectónica - Igreja de Saint-Jean de Montmartre, Paris (França) – arquitecto Anatole Baudot, 1904. ....	28
Figura 3 – Critério de classificação granulométrica.....	34
Figura 4 – Relações entre a EN 206-1 e as normas para a concepção e para a execução, as normas dos materiais constituinte e as normas de ensaios .....	54
Figura 5 – Obra do Porto da Praia – Fase 2.....	59
Figura 6 – Localização geográfica da Obra “Expansão e Modernização do PP2” .....	60
Figura 7 – Agregados utilizadas no estudo dos betões .....	64
Figura 8 – Series de peneiros ASTM .....	65
Figura 9 – Equipamentos utilizados no ensaio de equivalente de areia .....	68
Figura 10 – Frasco de Chapam .....	69
Figura 11 – Medidor de espessura (em mm) .....	70
Figura 12 – Medidor de comprimento (em mm) .....	71
Figura 13 – Máquina de ensaio de desgaste “ <i>Los Angeles</i> ” .....	72
Figura 14 – Cimento Portland Tipo CEM II / A-L 42,5 R .....	74
Figura 15 – Silos de armazenamento de cimentos .....	74
Figura 16 – Pozolana de Santo Antão de Cabo Verde .....	75
Figura 17 – Equipamentos de armazenamento das pozolanas .....	76
Figura 18 – Central Nova (modelo: ARC MOV MDE 3000) .....	85
Figura 19 – Autobetoneira.....	87
Figura 20 – Cone de Abrans .....	89
Figura 21 – Ensaio de abaixamento realizado em obra .....	89
Figura 22 – Provetes utilizados para os ensaios .....	91
Figura 23 - Rotura do provete .....	91

Figura 24 – Muro-Cortina (projecto).....	92
Figura 25 – Montagem de cofragem do muro-cortina – sapata.....	93
Figura 26 – Betonagem da sapata do muro-cortina.....	93
Figura 27 – Grifagem da superfície da sapata do muro-cortina .....	94
Figura 28 – Betonagem do muro-cortina – elevação.....	94
Figura 29 – Muro-Cortina construído.....	95
Figura 30 – Caixotão tipo I.....	96
Figura 31 – Caixotão tipo II .....	96
Figura 32 – Betonagem da laje do fundo do caixotão .....	96
Figura 33 – Betonagem do caixotão – Elevação – Deslize dentro da água.....	97
Figura 34 – Caixotão construído .....	97

## Tabelas

Tabela 1 – Classificação dos agregados .....	31
Tabela 2 – Classificação do agregado quanto à baridade.....	32
Tabela 3 - Características físicas e mecânicas das rochas mais usados como agregado em betão (adaptado de Bertolini e Pedefferi, 1995) .....	35
Tabela 4 - Características e verificação da conformidade dos agregados para betão.....	37
Tabela 5 – Cimentos, tipos e composição .....	39
Tabela 6 – Cimentos utilizado em Cabo verde.....	40
Tabela 7 – Requisitos mecânicos expressos como valores característicos especificados .....	40
Tabela 8 – Principais características da pozolana de Santo Antão (Cabo verde).....	43
Tabela 9 – Características e exigências da água para amassadura de betões .....	45
Tabela 10 – Tipos de adjuvantes baseados na função principal .....	47
Tabela 11 – Valores dos parâmetros de que dependem a trabalhabilidade .....	49
Tabela 12 – Factores que afectam a trabalhabilidade.....	49
Tabela 13 – Rotura de compressão para idades do betão a partir do tipo de cimento.....	50
Tabela 14 – Classes de exposição relacionadas com as acções ambientais .....	51
Tabela 15 – Tolerâncias para valores pretendidos da consistência .....	56
Tabela 16 – Classes de resistência à compressão para betão de massa volúmica normal e para betão pesado .....	57
Tabela 17 – Classe de resistência do betão segundo REBAP .....	57
<b>Tabela 18 – Requisitos para a composição dos betões do Muro-Cortina e do Caixotão .</b>	<b>62</b>
Tabela 19 – Análise granulométrica dos agregados .....	66
Tabela 20 – Parâmetros caracterizadores dos agregados.....	67
Tabela 21 – Equivalente de areia das Areias .....	68
Tabela 22 – Massa específica aparente das areias .....	69
Tabela 23 – Peso específico e absorção de água das britas .....	70

Tabela 24 – Índice de Lamelação e Alongamento das britas .....	71
Tabela 25 – Ensaio de desgaste “ <i>Los Angeles</i> ” das britas .....	72
Tabela 26 – Requisitos para os betões segundo o tipo de cimento CEM II/B-M (L+P) .....	73
Tabela 27 – Características do Cimento Portland do Tipo CEM II/A-L 42,5 R .....	74
Tabela 28 – Propriedades dos adjuvantes <i>SIKA</i> utilizados na composição dos betões .....	77
Tabela 29 – Dosagem recomendada do adjuvante Sikament P-190.....	77
Tabela 30 – Valores dos parâmetros das curvas dos betões .....	80
Tabela 31 – Coordenadas das curvas de referência dos betões .....	80
Tabela 32 – Resumo das composições dos betões – Estudos laboratoriais.....	81
Tabela 33 – Resistência à compressão do betão do Muro-Cortina .....	81
Tabela 34 – Resistência à compressão do betão dos Caixotões .....	82
Tabela 35 – Teor de cloretos dos constituintes dos betões.....	84
Tabela 36 – Classes de abaixamento .....	88
Tabela 37 – Resultados do “ <i>Slump test</i> ” dos elementos estruturais do Muro-Cortina e do Caixotão.....	89
Tabela 38 – Valores médios da tensão de rotura à compressão do Muro-Cortina .....	90
Tabela 39 – Valores médios da tensão de rotura à compressão dos Caixotões.....	91



## Gráficos

Gráfico 1 - Curvas granulométricas dos agregados .....	66
Gráfico 2 – Tensão de rotura à compressão do Muro-Cortina .....	82
Gráfico 3 – Tensão de rotura à compressão do Caixotão .....	83

## **Siglas e abreviaturas**

### **SIGLAS**

**APEB** – Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto

**ASTM** – American Society for Testing and Material

**EMPP2** – Expansão e Modernização do Porto da Praia – Fase 2

**LNEC** – Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal

**NP** – Norma Portuguesa

**NP EN** – Norma Portuguesa, Norma Europeia

**PP2** – Porto da Praia – Fase 2

**REBAP** – Regulamento de Estrutura de Betão Armado e Pré-Esforçado

**RBLH** – Regulamento de Betões de Ligantes Hidráulicos

### **ABREVIATURAS**

**A/C** – Relação água e cimento

**Fig.** – Figura

**Graf.** – Gráfico

**Tab.** – Tabela

**ind./comp.** – Indicativo/ Comparativo

**Un.** - Unidade

## **Simbologia**

**MPa** – Mega-Pascal

**GPa** – Giga-Pascal

**%** – Percentagem

**Kg** - Kilograma

$f_{cd}$  – Valor de cálculo da resistência à compressão do betão

$f_{ck}$  – Valor de característico da resistência à compressão do betão

$f_{ck,cyl}$  – Resistência característica à compressão do betão em provetes cilíndricos

$f_{ck,cube}$  – Resistência característica à compressão do betão em provetes cúbicos

**(L+P)** – Ligante mais Pozolana

**ind./comp.** – Indicativo/ Comparativo

## Introdução

---

### 1. Importância e Justificativa do assunto

Sendo o betão um dos materiais mais utilizados no ramo da construção civil, assume grande influência e importância neste sector, devido a versatilidade no seu uso. A sua aplicação nessa indústria é diversificada, pois possui características e propriedades que lhe asseguram a aplicação em diversas áreas como obras hidráulicas, marítimas/portuárias, edifícios estruturais, pontes, estradas, e entre outras áreas.

Devido a sua generalizada utilização no campo da construção, o betão é hoje um material em constante análise das suas propriedades, características e técnicas construtivas, com o intuito de melhorar a sua qualidade e, conseqüentemente, garantir a durabilidade desejada às estruturas com o seu emprego

Nos dias que correm, a qualidade e a durabilidade, são as características mais desejadas no betão. Porém, para as alcançar é preciso que as etapas da sua composição e produção sejam bem executadas, principalmente quando se aplicam betões em meios especiais como obras marítima/portuárias, hidráulicos, cujos ambientes exigem betões com grande capacidade de resistência aos agentes agressivos do meio, como é o caso dos betões em estudo.

Face à grandeza e a importância da obra “ Expansão e Modernização do Porto da Praia – Fase 2” (EMPP2)<sup>1</sup>, verificadas a partir de uma visita realizada a mesma, surgiu o interesse e o desejo em realizar o estágio curricular, e desenvolver um tema relacionado com a obra em questão. Com a concretização do primeiro desejo, tornou-se possível a realização do segundo.

Assim, decidi com o apoio do meu orientador, Eng. António Gonçalves, analisar os betões utilizados na execução do Muro-Cortina e Caixotões, pelas seguintes motivações:

- Importância do estudo da composição do betão e do conhecimento que posso adquirir;
- Por serem betões hidráulicos, utilizados numa obra marítima/portuária, um sector pouco explorado em Cabo Verde;
- Por serem betões resistentes, aplicados num mesmo meio, mas que possuem características diferentes face à finalidade das suas aplicações;
- Facilidade no acesso à documentação do tema em questão.

## 2. Objectivos do trabalho

Inicialmente procura-se através de uma investigação bibliográfica, verificar aspectos importantes sobre o betão, para ver até que ponto esses aspectos podem influenciar na melhoria da sua qualidade.

O presente trabalho pretende conhecer a composição, propriedades, características, entre outros aspectos dos betões utilizados na execução do Muro-Cortina e Caixotões da obra “Expansão e Modernização do Porto da Praia – Fase 2”.

Por se tratar de betões hidráulicos, poucos utilizados em Cabo Verde, e pela fraca influência do sector marítimo/portuário exerce no ramo da construção civil, procura-se analisar esses betões para ver até que ponto interferem na qualidade e durabilidade dessas estruturas.

---

<sup>1</sup> **EMPP2 – Expansão e Modernização do Porto da Praia – Fase 2**

Será dada ênfase ao estudo do caso, segundo os seguintes objectivos:

- Identificar e analisar os materiais constituintes dos betões;
- Identificar e analisar a composição dos betões;
  - Avaliar e comparar os resultados laboratoriais com os resultados obtidos na obra;
- Verificar se os betões produzidos na obra se assemelham com os estudados do laboratório;
- Identificar e analisar as técnicas utilizadas na produção dos betões;
- Descrever dos processos construtivos das estruturas a betonar;
- Avaliar da influência do betão, produzido na obra, na qualidade e durabilidade das estruturas.

Os objectivos essenciais resumem-se no seguinte conjunto de objectivos parcelares:

1. Elaboração de uma pesquisa bibliográfica, sobre o tema em estudo, para uma melhor abordagem e/ou fundamentação teórica;
2. Estudo da composição dos betões, através de análises dos componentes dos mesmos, recorrendo, sempre que possível, aos ensaios realizados;
3. Avaliação dos resultados obtidos.

### 3. Metodologia

A metodologia de trabalho utilizado para a elaboração do respectivo documento, de carácter científico, teve a seguinte sequência:

**1ª Etapa** – Foi feita uma revisão bibliográfica em livros e documentos digitais e manuais que abordam assuntos relacionados com a temática. Essas pesquisas e consultas possibilitaram obter uma base para sustentação teórica.

**2ª Etapa** – Diz respeito à parte prática, realizada através de dados recolhidos a partir de visitas efectuadas à obra, através de ensaios realizados nos componentes do betão e no próprio (no seu estado fresco e endurecido), fotografias, amostras, cadernos de encargos da obra em estudo, e também, a partir de pesquisas feitas no terreno (local da obra) sobre assuntos

relacionados com a temática. Esta etapa permitiu saber se foram atingidos os objectivos propostos inicialmente.

## 4. Estrutura do trabalho

O presente trabalho encontra-se organizada da seguinte forma. Primeiramente, fez-se um enquadramento geral do âmbito a que esta monografia se refere, os objectivos a atingir, a metodologia utilizada e a estrutura que constitui o presente trabalho.

O CAPÍTULO 1 apresenta uma revisão bibliográfica sobre o tema em questão, divididos em vários tópicos relacionados com o betão. O desenvolvimento desses tópicos facilitou a compreensão e a realização do CAPÍTULO 2, a partir de uma análise teórica sobre os componentes, as características e propriedades do betão.

O CAPÍTULO 2, o mais importante, representa a parte prática do presente trabalho, onde as investigações e o desenvolvimento prático foram acompanhados e avaliados de perto. Este capítulo apresenta a caracterização dos componentes dos betões, a partir das análises efectuadas nos ensaios realizados, e a composição laboratorial dos betões. É de realçar que foram analisados e avaliados todos os resultados obtidos.

Por último, fez-se a conclusão do presente trabalho, com a avaliação do cumprimento dos objectivos, inicialmente, propostos. É de salientar que no capítulo 2 foi dada mais atenção à conclusão do trabalho.

Os APÊNDICES apresentam todos os ensaios realizados nos componentes dos betões e nos próprios betões, e alguns documentos (gráficos, plantas de projectos, etc) que facilitam à compreensão desta monografia.

Os ANEXOS apresentam normas e especificações que serviram de apoio na realização dos respectivos ensaios, e algumas fichas técnicas dos componentes dos betões.

## Capítulo 1: Betão como material de construção – Fundamentação teórica

---

### 1.1 Generalidades

Falar de betão, não é apenas defini-la como um dos materiais mais utilizados no campo da construção civil, mas sim, abordar um conjunto de materiais e conceitos tecnológicos relacionados à sua compressão e aplicação no contexto prático.

Segundo Mehta e Monteiro, citado por Ribeiro (2010, p.17), betão é um material compósito, completo por matriz – meio aglomerante, formado por cimento hidráulico e água – e elemento de reforço (agregados com brita e areia), podendo conter alguns aditivos, fibras, pigmentos e adições em benefício de propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade. Quando é usado para fim estrutural, requer a união a um material resistente à tracção, geralmente o aço, na forma de barra ou cabo, formando o betão estrutural, resistente às solicitações de tracção, de compressão e à flexão.

A utilização generalizada do betão na construção deve-se à sua versatilidade no campo da aplicação que ela oferece, a facilidade de moldagem de elementos, mais ou menos complexos que apresenta, o baixo custo de materiais e processos utilizados na sua fabricação. Tudo isto, torna-o num material em constante análise das suas propriedades, características, técnicas



construtivas, com o intuito de assegurar a durabilidade aos elementos de betão armado, isto é, garantir um bom comportamento funcional durante a vida útil previsto. “Assim, não é de todo surpreendente que as evoluções registadas neste material estejam ligadas a duas características fundamentais: a rapidez de construção e a durabilidade do betão” (Mehta, 1999)<sup>2</sup>.

Hoje em dia, a durabilidade é uma das características mais desejada, e está intimamente ligado à qualidade que, por sua vez, depende das técnicas de produção, controlo, transporte, colocação e compactação do betão em obra. Por isso, essas técnicas devem ser bem aplicadas, de acordo com as normas especificadas e supervisionadas por técnicos capacitados que asseguram que o produto final seja de qualidade. As fases de controlo e de produção são as mais importantes, porque é nelas que se faz a escolha dos materiais constituintes e que especificam as proporções de misturas que exercem uma grande influência na definição da composição do betão.

Nos últimos anos foram registadas várias evoluções relacionadas ao betão, com repercussão na durabilidade e na alteração da sua composição, isto face aos avanços averiguados nos cimentos, nas novas tecnologias implementadas no betão pronto e o aparecimento dos adjuvantes que nos permitem agora produzi-lo com uma determinada especificação e com elevada resistência.

O betão é o material de construção mais utilizado no mundo, depois da água, pois possui características que lhe asseguram tal estatuto, de referir:

- A diversidade da aplicação (edifícios, obras de infraestruturas, etc);
- A resistência do betão à água (barragens, represas, canais de água, pavimentos, estruturas etc);
- A excelente moldabilidade, dada pela consistência plástica no estado fresco do betão, que facilita a obtenção de infinitas formas e tamanhos de elementos estruturais;
- A facilidade de obtenção e o baixo custo do material.

---

<sup>2</sup> Citado por CAMÕES, Aires. (2006) – Seminário de inovações em betões – BED, p.82

Como todos materiais, o betão também possui fraquezas como:

- Baixo poder de isolamento térmico;
- Elevado peso específico;
- Dificuldades e custo elevado na demolição, recuperação ou reparação, quando as obras necessitam de intervenção.

Segundo Mehta e Malhotra, citado por Camões (2006, p.82), os futuros avanços na tecnologia do betão estarão intimamente ligados não só à rapidez de execução das estruturas e à durabilidade, mas também a preocupações ambientais.

## 1.2 Evolução histórica

O betão é um material composto pela mistura, devidamente proporcionada, de pedras e areias, com um ligante hidráulico, água e, eventualmente, adjuvantes.

Segundo Coutinho (2006, p.1), a ideia da utilização de misturas de pedras e areia com um ligante é talvez tão antiga como o Homem. Acredita que o betão mais antigo foi descoberto em Lepenski Vir, f na Jugoslavia, nas margens do rio Danúbio, por volta de 5600 a. C. O uso desse material estendeu-se por toda a zona mediterrânea, de tal modo que os romanos empregaram, largamente, misturas de pedras e areia (por vezes de natureza pozolânica), cal e água nas construções das grandes obras públicas, como pontes, cais e grandes edifícios. Durante a Idade Média e o Renascimento, o uso desse material não parou, face ao seu emprego nas fundações e pavimentos térreos.

Segundo Isaia, citado por Ribeiro (2010, p.2), o betão utilizado como material de construção há milénios antes de Cristo, na Galileia e posteriormente por gregos e romanos, reaparece para ficar na história da construção civil a partir da criação do cimento Portland, devido à sua hidráulicidade e à rapidez com que endurecia.

Em 1812, Louis Vicat, inventor do cimento Portland, foi encarregado da construção da ponte de Souillac, sobre o rio Dorgogne, em França. Durante esta iniciou o estudo das causas da hidráulicidade dos cais, e em 1817, escrevia uma memória sobre os resultados das suas

experiências, na qual apresentou uma dissertação que provava que a cozedura conjunta de calcário e argila conduzia à obtenção do cimento.

Em 1824, o inglês Joseph Aspdin patenteava a fabricação do cimento Portland por um processo semelhante ao de Vicat, cujo nome foi atribuído em razão da semelhança desse cimento endurecido com o calcário da península de Portland.

Somente em meados do século XIX, quando surgiu a ideia de se adicionar um material de alta resistência à tracção do betão, é que registaram-se progressos significativos. Nascia assim um material composto: “cimento armado”, posteriormente, denominado “betão armado”.

O primeiro objecto de betão armado foi construído em 1848 pelo francês Joseph-Louis Lambot, “um barco” (fig. 1), exibido em 1855 na Exposição Universal de Paris. Na verdade o barco de Lambot era feito de “argamassa armada”, material de muita utilização nos dias actuais.



Figura 1 – Barco em betão armado, autoria do francês Joseph-Louis Lambot, 1849.

Fonte: <http://www.civil.ist.utl.pt/~cristina/GDBAPE/ConstrucoesEmBetao.pdf>

O francês Joseph Monier, conhecido como um dos pioneiros do betão armado, que apoiando na ideia de Lambot, construiu vasos de flores com argamassa de cimento, areia e armadura de arame, de maneira bem empírica. Em 1867, obteve a sua primeira patente para a construção

de vasos, tendo estendido para tubos e reservatórios em 1868, em 1869 a placas, em 1873 a pontes e em 1875 a escadas.

Em 1852, François Coignet e em 1854 William Wilkinsen iniciaram a realização de pavimentos de betão armado (lajes e vigas) que proporcionaram revoluções das técnicas da construção civil, apresentando vantagens tanto técnicas como económicas sobre os demais materiais disponíveis para o uso estrutural, tornando-o no material de maior aplicação até a época actual.

O final do século XIX, foi um período de progressos na história do betão estrutural, tanto a nível tecnológico, relativo aos sistemas estruturais, métodos de cálculo, como no emprego e possibilidades de uso. O betão armado passa a ser utilizado como expressão arquitectónica para arquitectos europeus, principalmente pelos franceses como Auguste Perret e Anatole de Baudot e pelo alemão Max Berg.



Figura 2 – Uma das primeiras obras de expressão arquitectónica - Igreja de Saint-Jean de Montmartre, Paris (França) – arquitecto Anatole Baudot, 1904.

**Fonte:** <http://ruefranklin25bis.blogspot.com/>

Os meados do século XX servem de confirmação do desenvolvimento extraordinário na utilização, compreensão do funcionamento e possibilidades do betão armado, material que

marcou o século XX, estando inserido num cenário histórico marcado pelas duas grandes guerras, a 1ª Guerra Mundial (1914 a 1918) e a 2ª Guerra Mundial (1939 a 1945).

Segundo Mehta, citado por Camões, (2006, p.82), a evolução do betão ao longo dos últimos cinquenta anos, enquadra-se, particularmente, em relação às questões relacionadas com a durabilidade.

## 1.3 Componentes do betão

O betão é um material que se destaca pela sua versatilidade, por ser aplicável em várias vertentes da construção civil. Para que essa versatilidade tenha sucesso é preciso que o betão tenha um bom desempenho, que só é conseguido por uma boa escolha dos seus componentes. Sendo as suas propriedades dependentes de diversos factores, as propriedades dos agregados envolvidos, o tipo de cimento adoptado e as diversas proporções entre os elementos e a razão água/cimento (A/C) exigem especial atenção.

### 1.3.1 Agregados

Os agregados são materiais granulares, sem forma ou volume definido, de dimensões variados (geralmente entre 0,1 mm e 200 mm) e propriedades adequadas às obras de engenharia. Para a fabricação de betões e argamassas de cimento Portland, podem ser utilizadas: britadas, artificiais e reciclados. Pelo volume que ocupam, constituem uma elevada percentagem do betão (em média cerca de 75%), exercendo grande influência nas propriedades mecânicas, de durabilidade e físicas nas estruturas de betão, devido as suas características como: porosidade, composição granulométrica, absorção de água, estabilidade, forma, textura superficial dos grãos, resistência mecânica, módulo de deformação e substâncias deletérias, de modo que estas têm importância nas proporções empregadas e no custo do betão.

Cerca de 90% dos agregados são naturais, provenientes de rochas naturais como quartzo, granito, mármore, calcário e seixo, e as restantes podem ser considerados artificiais, pois, são obtidos através de processos térmicos (argila expandida) e rejeitos industriais (escória de alto-forno, cinzas volantes).

Uma vez que o mundo está sempre em desenvolvimento, vários sectores inovando, sempre à procura da melhor qualidade, e sendo o sector da construção civil inovador, em constante actualização, hoje existem agregados reciclados provenientes da reciclagem das construções que podem ser utilizados no betão, desde que esteja em conformidade com os requisitos de qualidade e o meio ambiente.

Em Cabo Verde o controlo desse material tem sido feito com base nos regulamentos portugueses, como a LNEC no qual estão publicadas diversas especificações relativamente à metodologia de ensaio, determinação das propriedades, entre outras e Regulamentos de Betões de Ligantes Hidráulicos (RBLH).

Segundo Martins, J. (2010, p.36), as propriedades essenciais que se exigem ao agregado são de natureza geométrica, física e química:

- a) Adequada forma e dimensões proporcionais (granulometria), segundo determinadas regras – como baixo índice de vazios, porosidade, etc.;
- b) Adequada resistência mecânica – da qual depende a resistência final do próprio betão, em grande medida (a resistência mecânica do betão é, sobretudo, dada pela resistência dos agregados e, só depois, pela classe da resistência do cimento e sua quantidade);
- c) Adequadas propriedades térmicas – com vista a suportar o calor de hidratação e a evitar variações dimensionais significativas em serviço, função das alternâncias ambientais;
- d) Adequadas propriedades químicas, relativamente ao ligante e às acções exteriores;
- e) Isenção de substanciais prejudiciais.

O comportamento do betão quer no estado fresco como no estado endurecido oferece-nos todas as informações precisas sobre a qualidade do agregado nela empregada. Quando se pretende aplicar agregados nunca explorados, com comportamento desconhecido, e quando se procede ao controlo diário do agregado proveniente de várias origens, os ensaios devem ser julgados, em última análise, a partir das propriedades do betão que com eles se confecciona, e não exclusivamente a partir de ensaios isolados.

As propriedades dos agregados para os betões em estudo e os requisitos a satisfazer estão indicadas na especificação LNEC 373 (Apêndice A.1)

### 1.3.1.1 Classificação dos agregados

Os agregados podem ser classificados de várias maneiras de acordo com a análise em questão. Pode-se classificar quanto:

- Petrográfico;
- Massa volúmica;
- Baridade;
- Modo de obtenção;
- Dimensão das partículas.

Tabela 1 – Classificação dos agregados

Tipo de classificação	Classificação	Características
Petrográfico	Ígneos	
	Sedimentares	
	Metamórficas	
Massa volúmica	Leves	Sua massa volúmica é inferior a $2,3 \text{ g/cm}^3$
	Normal	A sua massa por unidade de volume varia entre $2,3 \text{ g/cm}^3$ a $3,0 \text{ g/cm}^3$
	Pesados	Sua massa volúmica é superior a $3,0 \text{ g/cm}^3$
Modo de obtenção	Natural	Rochas sedimentares, de natureza clásticas
	Britado	Fractura de rochas não clásticas
Dimensão das partículas	Agregado grosso ( $> 5 \text{ mm}$ )	<b>Godo</b> – quando é de origem sedimentar <b>Brita</b> – quando é partido artificialmente
	Agregado miúdo ( $< 5 \text{ mm}$ )	<b>Rolado</b> – quando é natural de origem sedimentar <b>Britado</b> – quando é obtido por fractura artificial
Baridade	<b>Ver tabela 2</b>	

Fonte: Coutinho, A. (2006)

A baridade ou massa volúmica do agregado contribui para a extensão do intervalo granulométrica que compõe o agregado, e pode ser classificado segundo a forma das suas partículas, como ultraleve, leve, denso ou normal, ou extradenso de acordo com a tabela 2.

Tabela 2 – Classificação do agregado quanto à baridade

Classificação	Baridade Kg/m <sup>3</sup>	Exemplos de agregados	Aplicação e designação do betão
Ultraleve	< 300	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poliestireno expandido</li> <li>• Vermiculite</li> <li>• Perlite expandido</li> <li>• Vidro expandido</li> </ul>	Com funções estritamente de isolamento térmico e sem funções de resistência
Leve	300 a 1200 (areia) 300 a 950 (agregado grosso)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argila expandida</li> <li>• Xisto expandido</li> <li>• Pedras-pomes</li> <li>• Escória de alto-forno expandido</li> <li>• Cinzas volantes sintetizadas</li> <li>• Pedra-pomes</li> </ul>	Com funções de isolamento térmico, com funções de resistência (betão estrutural) e diminuição do peso próprio
Denso (normal)	1200 a 1600 1200 a 1400 1300 a 1500	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Areia</li> <li>• Godo</li> <li>• Rocha britada</li> </ul>	Normal, com função de resistência (betão estrutural)
Extradenso	> 1700	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limonite</li> <li>• Magnetite</li> <li>• Barrita</li> </ul>	Com funções de protecção contra as radiações atómicas e com funções resistentes

**Fonte:** Coutinho, A. (2006)

### 1.3.1.2 Características e propriedades fundamentais dos agregados

#### 1.3.1.2.1 Características geométricas e granulométricas

##### ❖ Forma

A geometria dos agregados exerce uma grande influência sobre as propriedades do betão, tais como o ângulo de atrito interno, compactidade, trabalhabilidade e, em última análise, sobre todas as que dependem da quantidade da água de amassadura.

É difícil caracterizar a forma dos corpos a três dimensões, por isso, é preciso definir certos parâmetros geométricos como espessura, largura e comprimento que são as dimensões de uma partícula.



A forma das partículas pode ser determinada através de vários métodos como:

- Determinação do coeficiente volumétrico;
- Medição do coeficiente de permeabilidade;
- Medição da baridade e do volume de vazios;
- Medição de tempos de escoamento do inerte.

Para que se possa ter uma boa avaliação da influência que a forma das partículas exerce na trabalhabilidade do betão, é preciso que todos esses métodos sejam realizados na sua perfeição, pois, seria insuficiente avaliar a trabalhabilidade do betão através da determinação da forma das partículas pelo coeficiente volumétrica, deixando de lado outras propriedades como a permeabilidade, a baridade e o tempo de escoamento de um dado volume de agregado através de um orifício.

Uma forma defeituosa prejudica a qualidade do betão. O acréscimo de água para melhorar a trabalhabilidade só é preciso, quando as placas ou lamelas possuem areia fina. O agregado grosso, acicular, produz um betão áspero, difícil de compactar e que apresenta um limiar na trabalhabilidade. Esse aspecto da existência de partículas lamelares é importante pois, como elas tendem a orientar-se num plano horizontal, passa a haver privilégios, visto que debaixo delas a exsudação ou a segregação da água do betão fresco, após a sua colocação, pode provocar a formação de uma película de água que impede a aderência da pasta de cimento. Daí resulta um aumento considerável da permeabilidade e a diminuição da tensão de rotura, sobretudo nos casos em que o betão está sujeito a temperaturas negativas. A água infiltrada pode congelar, provocando roturas nestes locais, independentemente das medidas tomadas para evitar a congelação da água.

### ❖ **Granulometria**

A granulometria, a seguir à resistência, é a propriedade mais importante do agregado pois, é ela que condiciona a compacidade do betão e de todas as propriedades desse material.

Segundo Coutinho, A (2006), chama-se granulometria à distribuição das percentagens de determinadas dimensões que compõem o agregado.

A curva granulométrica exprime as percentagens acumuladas, em peso do material, que passa pelos diferentes peneiros, e que liga entre si os pontos referentes a cada peneiração, podendo-se definir para o granulado em questão, três parâmetros fundamentais: dimensão máxima, dimensão mínima e módulo de finura.

Dimensão máxima “D” – é a menor abertura da malha da série de peneiros ASTM através da qual passa uma quantidade de agregado igual ou maior que 90%.

Dimensão mínima “d” – é a maior abertura da malha da série de peneiros ASTM através da qual passa uma quantidade de agregado igual ou menor que 5%.

Módulo de finura “m” – indica a dimensão média ponderada do peneiro do grupo, no qual é retido o material, sendo os peneiros contados a partir do mais fino (malha de 0,149 mm).

% de finos – percentagem de material que passa no peneiro 200 (0,074 mm).

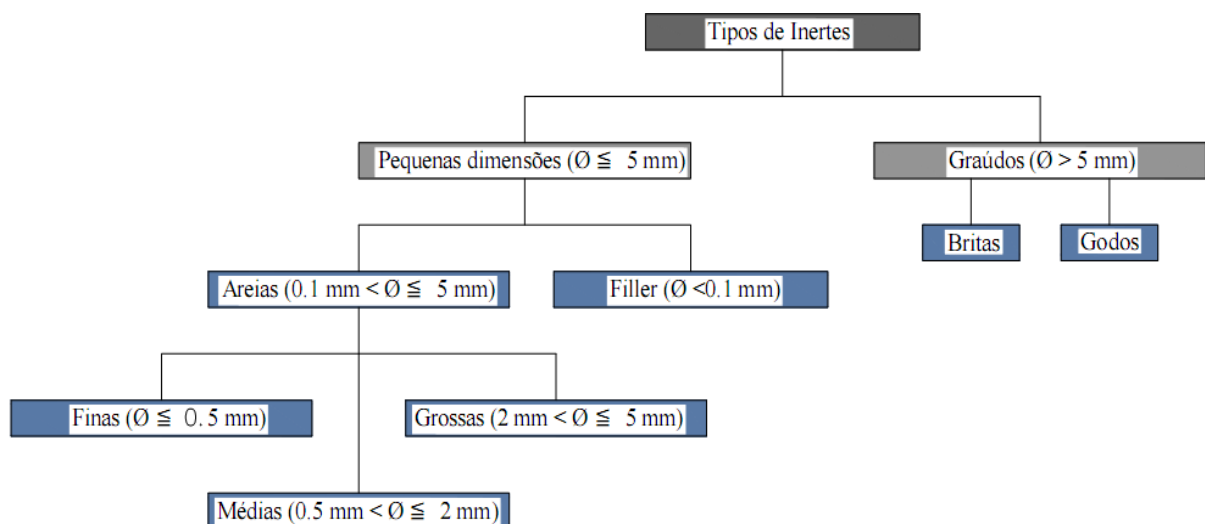


Figura 3 – Critério de classificação granulométrica

Fonte: Martins, J. (2010)

#### 1.3.1.2.2 Características mecânicas

O agregado influi em todas as propriedades do betão, principalmente na sua resistência, através da composição granulométrica, da sua própria tensão de rotura da resistência, da ligação entre a pasta de cimento e a sua superfície.

A resistência do betão só depende da resistência da pasta de cimento, porque, normalmente, as rochas utilizadas como agregados possuem uma tensão de rotura superior a 60 ou 70 MPa.

Mas, se as tensões de rotura das rochas forem inferiores, a cerca de duas vezes a da pasta de cimento, a resistência do betão passa a depender da resistência do inerte, por isso, é útil fixar um valor mínimo de tensão, para as rochas utilizadas como agregado.

Tabela 3 - Características físicas e mecânicas das rochas mais usados como agregado em betão  
(adaptado de Bertolini e Pedefferi, 1995)

<b>Rochas</b>	<b>Densidade aparente (g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porosidade aparente (%) volume)</b>	<b>Resistência à compressão (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidade (GPa)</b>	<b>Resistência à abrasão (ind./comp.)</b>
Rochas Ígneas:					
- Granito e sienito	2.6-2.8	0.4-1.4	160-240	50-60	1
- Diorito e gabro	2.8-3.0	0.5-1.5	170-300	80-100	1-1.5
- Pórfiro ácido	2.6-2.8	0.4-1.5	180-300	50-70	1-1.5
- Basalto	2.9-3.0	0.3-0.7	200-400	90-120	1-2
- Pedra-pomes	0.5-1.1	25-26	5-20	10-30	-
- Tufo vulcânico	1.1-1.8	25-50	-	-	-
Rochas sedimentares:					
- Calcário Mole	1.7-2.6	0.5-2.5	20-90	30-60	4-9
- Calcário compacto	2.7-2.9	0.5-2	80-190	40-70	4-8
- Dolomite	2.3-2.8	0.5-2	20-60	20-50	7-12
- Travertino	2.4-2.5	4-10	-	-	-
Rochas metamórficas:					
- Gneisse	2.6-3.0	0.3-2	160-280	30-40	1-2
- Xisto metamórfico	1.4-1.8	1.4-1.8	90-100	20-60	4-8
- Mármore	2.7-2.8	0.5-2	100-180	40-70	4-8
- Quartzo	2.6-2.7	0.2-0.6	150-300	50-70	1-5

**Fonte:** Martins, J. (2010)

### *1.3.1.2.3 Características químicas*

É importante saber a composição química e mineralógica dos agregados, uma vez que, conhecendo as suas características, vantagens e limitações será mais fácil a sua aplicação no betão.

Sabe-se que a boa ligação entre cimento e o agregado, é importante para a qualidade do betão, porém, existe possibilidade de se originarem reacções químicas entre o ligante e o agregado, anulando a coesão do material, face a elevadas expansões e que conduzem à formação de substâncias que estão longe de ter propriedades aglomerantes.

Actualmente conhecem-se três tipos de reacções expansivas:

- 1) Reacção, em meio húmido, entre alcalis do cimento (sódio e potássio nele existentes) e a sílica (não perfeitamente cristalizada) do agregado;

- 2) Reacção dos alcalis do cimento com o carbonato de magnésio de certos calcários dolomíticos;
- 3) Reacção de determinadas formas da alumina do inerte com sulfatos, na presença de soluções sobressaturadas de hidróxido de cálcio fornecidas pela hidratação do cimento Portland.

Quando, num betão conservado em meio húmido (alínea 1)), o agregado contém sílica reactiva e o cimento possui uma quantidade superior a 0,6% de álcalis, dá-se uma reacção química com grande expansão, entre estes componentes, levando à formação de silicatos alcalinos. A adição da pozolana, ao betão, com agregado reactivo, é um meio eficaz de combater os efeitos dessa reacção

#### ❖ Impurezas contidas no agregado

No que toca às impurezas, sabe-se que os agregados clásticos, devidos as suas origens, e todo processo formativo, podem conter partículas com propriedades, por vezes, prejudiciais para o betão.

As impurezas contidas no agregado podem ter interferência química ou física.

##### a) Quimicamente:

- Partículas que dão origem a reacções químicas expansivas com o cimento;
- Impureza de origem orgânica (cuja natureza é mais importante que a quantidade, sobretudo nas areias, onde a lavagem é mais difícil que no agregado grosso);
- Impureza de origem mineral (sais) com destaques para cloretos, sulfuretos e sulfatos.

##### b) Fisicamente:

- Partículas com dimensões iguais ou inferiores às do cimento que interferem na estrutura do material hidratado, enfraquecendo-o;
- Partículas com resistências baixas (carvão, madeira, etc.);
- Partículas com expansões e contrações excessivas devidas à sequência de embebição e secagem.

Tabela 4 - Características e verificação da conformidade dos agregados para betão

Propriedades		Documento normativo	Limites a satisfazer
Resistência mecânica dos agregados grossos medida através de:	Tensão de rotura a compressão da rocha	NP 1040	$\geq 50$ MPa
	Resistência ao esmagamento	NP 1039	$\leq 45\%$
	Desgaste de “Los Angeles”	LNEC E 237	$\leq 50\%$
	Desagregação pelo sulfato de sódio de magnésio	NP 1378	SO <sub>4</sub> N <sub>a</sub> : perdas de peso < 10% SO <sub>4</sub> M <sub>g</sub> : perdas de peso < 5% ao fim de 5 ciclos.
Absorção de água		NP 581 NP 954	$\leq 5\%$
Quantidade de partículas ou matérias prejudiciais	Matéria orgânica	NP 85	Quantidade não prejudicial
	Partículas muito finas e material solúvel	NP 86	Areia natural $\leq 3\%$ Areia britada $\leq 10\%$ (Godo $\leq 2\%$ ; Brita $\leq 3\%$ )
	Partículas de argila	LNEC E 196	$\leq 2\%$ da massa do cimento + adições
	Partículas friáveis	NP 2380	Areia $\leq 1\%$ Godo ou brita $\leq 0,25\%$
	Partículas moles	LNEC E 222	Godo ou brita $\leq 5\%$
	Partículas leves	NP 953	Areias $\leq 0,5\%$ Godo ou brita $\leq 1\%$
	Índice volumétrico	LNEC 223	Godo $\geq 0,12$ Brita $\geq 0,15$
Reactividade potencial com os alcalis dos cimentos		LNEC E 159	Negativo
		NP 1381	Extensão $\leq 10^{-3}$ ao fim de 6 meses
Reactividade com os sulfatos		LNEC E 251	Provete de argamassas: • Ausência de fendilhamento • Extensão $\geq 0,5 \times 10^{-3}$ Provetes de rocha: • Extensão $\leq 1,0 \times 10^{-3}$ ao fim de 6 meses
Teor de cloretos		LNEC E 253	
Teor de sulfuretos		NP 2107	
Teor de sulfatos		NP 2106	
Teor de alcalis		NP 1382	
Teor de água total		NP 956 NP 957	
Análise granulométrica		NP 1379	
Baridade		NP 955	

Fonte: Martins, A. (2011)

### 1.3.2 Cimento

Segundo Coutinho (2006, p.125), etimologicamente a palavra cimento deriva do latim “*caementum*”, palavra que parece ter sido criada pelos romanos para designar pedras, pedaços de tijolo, cascalho, areia, cal e água, ou seja, o que hoje se designa por argamassa ou betão.

O cimento é constituído por pó, muito fino, que amassada com água forma uma pasta cujo endurecimento se dá apenas pela reacção química entre a água e o pó.

É denominado de **ligante**, face à propriedade que possui em aglomerar uma grande percentagem de materiais inertes, conferindo (ao conjunto) grande coesão e resistência, o que os torna prontos a serem empregados na construção, como argamassas e betões.

São considerados **hidráulicos**, porque gozam de uma propriedade muito procurada e apreciada no mundo da construção, que é a capacidade de obter elevadas resistências debaixo a água, suportando, perfeitamente, a sua acção, para além do endurecimento provocado pelo ar.

O ligante hidráulico mais importante de todos é o **Cimento Portland artificial**, um material obtido a partir de uma mistura, devidamente, proporcionada de calcário (carbonato de cálcio), argila (silicatos de alumínio e ferro) e, eventualmente, outras substâncias ricas em sílica, alumina ou ferro, reduzida a pó muito fino, que se sujeita à acção de temperaturas da ordem dos 1450 °C.

#### *1.3.2.1 Tipos de cimento*

O cimento Portland é composto por clínquer e de adições, e são essas adições que vão definir os diferentes tipos de cimento, sendo todos eles composto por clínquer, o principal componente do cimento.

Segundo a NP 2064 (1991)<sup>3</sup>, há quatro tipos de cimento, criados conforme a natureza e percentagem dos constituintes. Há cimento do tipo I, II, III e IV, sendo o do tipo II contendo cinco variedades face a sua diversidade de composição.

Tabela 5 – Cimentos, tipos e composição

Cimentos		Percentagem em massa (%) <sup>(1)</sup>					Constituintes em percentagem minoritária <sup>(2)</sup>
		Constituintes principais					
Designação	Tipo	<i>Clínquer Portland</i>  <i>K</i>	<i>Escoria Granulada alto-forno</i>  <i>S</i>	<i>Pozolanas Naturais</i>  <i>Z</i>	<i>Cinzas Volantes</i>  <i>C</i>	<i>Fíler</i>  <i>F</i>	
Cimento Portland	I	95 a 100	-	-	-	-	0 a 5
Cimento Portland composto	II <sup>(3)</sup>	65 a 94	0 a 27	0 a 23	0 a 23	0 a 16	
Cimento Portland de escória	II-S <sup>(3)</sup>	65 a 94	6 a 35	-	-	-	0 a 5
Cimento Portland de pozolana	II-Z <sup>(3)</sup>	72 a 94	-	6 a 28	-	-	0 a 5
Cimento Portland de cinzas volantes	II-C <sup>(3)</sup>	72 a 94	-	-	6 a 28	-	0 a5
Cimento Portland de fíler	II-F <sup>(3)</sup>	80 a 94	-	-	-	6 a 20	0 a 5
Cimento de alto-forno	III <sup>(4)</sup>	20 a 64	36 a 60	-	-	-	0 a 5
Cimento pozolânico	IV <sup>(5)</sup>	≥ 60	-	≤ 40		-	0 a 5

(1) Os valores do quadro referem-se ao núcleo de cimento, ou seja com exclusão do sulfato de cálcio e de adjuvantes.

(2) Os constituintes em percentagem minoritária podem ser um ou vários entre escória granulada de alto-forno, pozolana natural, cinzas volantes, fíler a menos que seja um constituinte principal d cimento.

(3) As percentagens dos constituintes dos cimentos do tipo II devem satisfazer a fórmula:  $1,0 S + 1,25 Z + 1,25 C + 1,75 F \leq 35$

(4) Para indicar propriedades especiais, tais como elevada resistência aos sulfatos, os cimentos com percentagem de escória granulada de alto-forno superior a 65% devem ser referenciados como tal na embalagem e/ou na guia de remessa

(5) O cimento pozolânico deverá satisfazer o ensaio de pozolanicidade nos termos da Norma NP EN 196-5

**Fonte:** NP 2064 (1991)

<sup>3</sup> Cimentos, Definições, especificações e critérios de conformidade

Os cimentos de uso corrente, no fabrico de betão, são o cimento Portland (**CEM I**) e o cimento Portland composto (**CEM II**) e quando são expostos a ambientes muito agressivos, podem sofrer determinadas reacções que afectam a sua durabilidade. Neste caso, recomenda-se o uso do cimento de alto-forno (**CEM III**), ou pozolânico (**CEM IV**) que são resistentes a esses meios agressivos. A escória granulada de alto-forno, resulta do arrefecimento rápido de uma escória fundida obtida da fusão do minério de ferro num alto-forno, possuindo propriedades hidráulicas quando activada apropriadamente. Existem, também, as cinzas volantes.

Tabela 6 – Cimentos utilizado em Cabo verde

Tipo	Cimentos de uso corrente em Cabo verde		
	CEM I	CEM II	CEM IV
Cimentos	Cimento Portland	Cimento Portland de Calcário	Cimento Pozolânico

Fonte: [Autor]

### 1.3.2.2 Classes do cimento

A NP EN 197-1 contém os requisitos mecânicos, físicos, químicos e de durabilidade para os cimentos. Quanto às características mecânicas, são distinguidas três classes de resistência e de referência: classe 32,5; 42,5 e 52,5 em que **N** indica classe de resistência normal e **R** indica a classe de resistência elevada. De acordo com a NP EN 196-1 a resistência de referência de um cimento é a resistência à compressão aos 28 dias.

Tabela 7 – Requisitos mecânicos expressos como valores característicos especificados

Classe de resistência	Resistência à compressão (MPa)			
	Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência	
	2 dias	7 dias	28 dias	
32,5 N	-	$\geq 16,0$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
32,5 R	$\geq 10,0$	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
42,5 N	$\geq 10,0$	-	$\geq 52,5$	-
42,5 R <sup>4</sup>	$\geq 20,0$	-		
52,5 N	$\geq 20,0$	-		
52,5 R	$\geq 30,0$	.		

Fonte: Cunha (2011)

<sup>4</sup> Classe de resistência empregada nos estudos das composições dos betões de muro-cortina e caixotões.



Pode-se dizer que os cimentos de classes 32,5 e 42,5 são adequados para as obras correntes, enquanto a de classe 52,5 são adequados para as obras onde se exige uma elevada resistência mecânica, como por exemplo pontes de grande vão.

### *1.3.2.3 Modificações a composição do cimento Portland – Aditivos*

Os principais componentes do cimento como silicato tricálcico, silicato bicálcico, aluminato tricálcico e alumino-ferrato tetracálcico possuem diversas propriedades que permitem alterar a sua composição com fim a alcançar um cimento mais capacitada que as outras, que satisfaçam as exigências da construção.

Mediante o desenvolvimento progressivo, que se tem verificado a nível da construção, e com os avanços tecnológicos verificados, o tempo tornou-se um factor importante nesse sector, por isso, umas das qualidades que se pretende do cimento é que possua tensões de rotura iniciais elevadas, de modo que possa ter (a 3 dias, por exemplo) a resistência que o cimento normal possui aos 7 ou mesmo aos 28 dias, assim se desmoldam, mais cedo, em serviço as pares estruturais, etc. Tudo isso torna, mais desejável, uma modificação das propriedades do cimento Portland, do que uma simples alteração da sua composição química. É o que se obtém com os aditivos que modificam o equilíbrio químico no interior do cimento atribuindo maior capacidade e qualidade no material.

#### *1.3.2.3.1 Pozolana*

As pozolanas são materiais naturais ou produtos artificiais compostos principalmente por sílica e alumina que, apesar de não terem propriedades aglomerantes e hidráulicas, são capazes de se combinar à temperatura ambiente, e em presença de água com o hidróxido de cálcio e diferentes componentes do cimento, produzindo compostos de grande estabilidade na água, com propriedades aglomerantes.

As pozolanas podem ser *naturais* (rochas lávicas alteradas por meteorização), *artificiais* (argilas sujeitas a temperatura suficientes para a desidratação) ou ainda *subprodutos industriais*. As naturais são de origem vulcânica, provenientes de magmas ricos em sílica que vê a sua reactividade aumentada (após a meteorização da lava) em consequência de uma

erupção vulcânica. As artificiais são obtidas pela criação de uma instabilidade da estrutura interna dos minerais argilosos provocada pela acção da temperatura (que varia entre os 500 e 900 °C), causando um aumento da porosidade da partícula e da superfície activa. Nos subprodutos industriais, também chamados de cinzas volantes, a reactividade pozolânica dá-se num processo semelhante ao das pozolanas artificiais, uma vez que o carvão possui cinzas, que são materiais siliciosos e aluminosos como as argilas (que adquirem propriedades pozolânicas, sempre que forem sujeitas à acção da temperatura).

A *reactividade pozolânica* é uma propriedade muito complexa, pouca conhecida. É a capacidade da pozolana combinar com o hidróxido de cálcio (é necessário que a sílica e a alumina não estejam em elevado grau de cristalização). Portanto, está ligada à sua estrutura interna, pois, quanto mais afastado estiver o produto do estado cristalizado, maior será a reactividade.

As pozolanas são aplicadas, particularmente, com duas finalidades: baixar o calor de hidratação do cimento (uma propriedade muito apreciada no betão em grandes massas como as barragens) e evitar a formação do sulfoaluminato expansivo (propriedade importante no betão sujeito à acção dos sulfatos).

#### ❖ **Pozolana natural**

Existem dois tipos de tratamentos térmicos que tornam as pozolanas naturais mais reactivas:

- a) Transformar argilas que possuem pozolana artificial, promovendo o aquecimento a uma temperatura até 700 °C, para que a reactividade da parte natural da pozolana não seja comprometida, mas suficiente para criar reactividade na parte argilosa;
- b) Provocar a desorção das moléculas de água que estão ligadas à superfície da pozolana natural, libertando-a dessa camada e tornando-a muito reactiva. Este tratamento é mais eficaz do que o da alínea a), pois é feito com temperaturas que não excedem os 350 °C.

Em Cabo Verde existem pozolanas naturais dotadas de características especiais, que quando submetidas ao processo da alínea b) adquirem propriedades extraordinárias.

Segundo Coutinho (2006, p.239), há mesmo pozolanas de qualidade excepcional ... (como a de Santo Antão, da Republica de Cabo Verde).

As pozolanas de Santo Antão, da República de Cabo Verde, são conhecidas recentemente mas já se destaca pela sua elevada reactividade, sendo alvo de estudos realizados pelo LNEC, com o intuito de conhecer as suas características, propriedades e entres outras qualidades.

A tabela 8 refere as características da pozolana de Santo Antão, República de Cabo Verde, obtidas a partir de análises realizadas pelo LNEC.

Tabela 8 – Principais características da pozolana de Santo Antão (Cabo verde)

Pozolana	Principais características														
	Análise química, (%)										Tensões de rotura em pasta normal, (MPa)				
	Perdas de peso entre (°C)		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	F (dias)		C (dias)		cm <sup>2</sup> /g
	100 e 500	500 e 1000									7	28	7	28	
<b>Santo Antão</b>	10,6	1,7	49,8	20,3	2,2	1,8	1,7	0,3	6,0	5,0	2,0	3,9	<b>4,7</b>	<b>10,5</b>	4270

**Legenda:**

SiO<sub>2</sub> – Sílica  
 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Alumina  
 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Óxido de ferro (III)  
 CaO – Óxido de cálcio  
 MgO – Óxido de magnésio  
 SO<sub>3</sub> – Trióxido de enxofre  
 Na<sub>2</sub>O – Óxido de sódio  
 K<sub>2</sub>O – Óxido de potássio  
 F – Flexão  
 C – Compressão  
 cm<sup>2</sup>/g – Superfície específica Blaine

**Fonte:** Coutinho, A. (2006)

❖ **Vantagens do emprego da pozolana**

São várias as vantagens que usufruímos com o emprego desse material, pois, as suas excepcionais características e propriedades nos garantem benefícios, tanto a nível técnico como económico.

A nível técnico, a pozolana permite diminuir a concentração do hidróxido de cálcio da solução do contacto com os componentes hidratados do cimento. É muito benéfico para a construção de grandes massas e betão, porque contribui mais para o abaixamento do calor de hidratação do que para o abaixamento da tensão de rotura.

Sob o ponto de vista económico a vantagem reside no seu baixo custo. As pozolanas mais importantes, referente ao custo, são os subprodutos industriais, como as cinzas volantes. As naturais necessitam somente do trabalho de extracção, e as mais caras são as artificiais porque são produzidos.

### 1.3.3 Água de amassadura

A água é um dos componentes do betão, e tal como os outros, torna-se uma mais-valia e benéfico, quando empregado em condições adequadas ao fabrico do betão. Toda a água potável incluindo a da rede de abastecimento público pode ser utilizada na amassadura do betão. Sendo assim, ela deve estar isento das substâncias prejudiciais e em quantidade certa de forma a garantir boa presa, endurecimento e durabilidade do betão.

A água de amassadura influencia as propriedades do betão, não só pela quantidade empregada, mas também, através de substâncias dissolvidas e em suspensão, sendo que as dissolvidas podem afectar a resistência mecânica e química do betão e das armaduras, e as em suspensão a compacidade e, particularmente, o crescimento cristalino dos produtos da hidratação do cimento. Normalmente o “*silt*” (dimensões entre 2 $\mu$ m e 60 $\mu$ m) e a argila (dimensões  $\leq$  2 $\mu$ m) são as substâncias que se encontram em suspensão na água.

São várias as funções que a água de amassadura desempenha no betão o qual se destacam três fundamentais:

- 1) Hidratação do cimento;
- 2) Molhagem dos agregados;
- 3) Definição da trabalhabilidade do betão.

Devido ao seu forte poder dissolvente, a água poderá conter em proporções elevadas todas as impurezas referentes ao agregado porque ambas são substâncias naturais.

Na tabela 9 estão as características, documentos normativos e exigências das águas para a amassadura de betões, segundo LNEC E 372.

Tabela 9 – Características e exigências da água para amassadura de betões

Característica	Documento normativo	Exigências	
		Betão simples	Betão armado e pré-esforçado
pH	NP 411	$\geq 4$	$\geq 4$
CQO (1) (mg/dm <sup>3</sup> )	NP 1414	$\leq 500$	$\leq 500$
Teor de cloretos (mg/dm <sup>3</sup> )	NP 423	$\leq 4500$ (2)	$\leq 600$ (2)
Resíduo em suspensão (mg/dm <sup>3</sup> )	E-380	$\leq 5000$	$\leq 2000$
Resíduo dissolvido (mg/dm <sup>3</sup> )		(3)	
Teor de sulfatos (mg/dm <sup>3</sup> )	NP 413	$\leq 2000$	$\leq 2000$
Teor de carbonatos e hidrogenocarbonatos (mg/dm <sup>3</sup> )	NP 421	(3)	
Teor de potássio e sódio (4) (mg/dm <sup>3</sup> )	E-381	$\leq 1000$	$\leq 1000$
Teor de orto-fosfatos (mg/dm <sup>3</sup> )	E-379	$\leq 100$	$\leq 100$
Teor de nitratos (mg/dm <sup>3</sup> )	E-382	$\leq 500$	$\leq 500$
Teor de sulfuretos (5) (mg/dm <sup>3</sup> )	NP 1417	-	$\leq 100$
Teor de zinco (mg/dm <sup>3</sup> )	E-417	$\leq 100$	$\leq 100$

(1) CQO – Consumo Químico de Oxigénio.

(2) Para concentrações superiores deverá verificar-se se o teor total de cloretos no betão não é superior a 1%, 0,4% ou 0,2% no caso de betão simples, armado ou pré-esforçado.

(3) Ver verificação da conformidade na cláusula 7.

(4) Só se os agregados forem potencialmente reactivos.

(5) Só no caso de betão pré-esforçado e de caldas de injeção.

**Fonte:** LNEC E 372 (1993)

### 1.3.4 Adjuvantes

A utilização dos adjuvantes é tão antiga como a do próprio cimento, ou ligantes hidráulicos. Os romanos utilizavam o sangue, a clara de ovo, a banha de leite como adjuvantes no betão de pozolana com fim a melhorar a trabalhabilidade.

A definição de adjuvante e a classificação dos diferentes tipos tem uma grande importância, embora sejam muito difíceis de fazer.

Segundo Coutinho, A. (2006, p.312), designa-se por *adjuvante* a substância utilizada em percentagem inferior a 5% da massa de cimento, adicionada durante a amassadura, dos componentes normais das argamassas e betões, com fim de modificar certas propriedades destes materiais, quer no estado fluido, quer no estado solido, ou no momento de passagem dum estado para outro.

#### *1.3.4.1 Classificação dos adjuvantes*

Como referido, anteriormente, a classificação dos adjuvantes é bastante complexa por isso é necessário determinar ou atribuir-lhe uma acção principal. Todavia, o engenheiro civil tem de escolher e aplicar bem os produtos. Será conveniente basear-se na acção principal sobre as propriedades tecnológicas do betão.

Os efeitos que se pretende alcançar com os adjuvantes são:

- Melhor a trabalhabilidade;
- Acelerar a presa;
- Retardar a presa;
- Acelerar o endurecimento nas primeiras idades;
- Aumentar as tensões de rotura;
- Aumentar a resistência aos ciclos de congelação e descongelação;
- Diminuir a permeabilidade dos líquidos;
- Impedir a segregação e a sedimentação do cimento nas caldas de injeção;
- Criar uma ligeira expansão no betão ou argamassa;
- Aumentar a aderência ao inerte, às argamassas e betões endurecidos;
- Produzir betão ou argamassas coloridos;
- Produzir argamassa leve;
- Produzir propriedades fungicidas, germicidas e inseticidas;
- Inibir a corrosão das armaduras;
- Ajudar na bombagem dos betões pobres.

A classificação dos adjuvantes depende da sua acção principal:

- a) Reologia das argamassas e betões frescos;
- b) Teor do ar das argamassas e betões;

- c) Presa e endurecimento;
- d) Expansão;
- e) Resistências às acções físicas;
- f) Resistências às acções químicas;
- g) Resistências às acções biológicas;
- h) Cor.

Tabela 10 – Tipos de adjuvantes baseados na função principal

Tipos de adjuvantes	Características
Adjuvante redutor de água/plastificante	Adjuvante que, sem afectar a trabalhabilidade, permite a redução da dosagem de água de uma dada amassadura, ou que, sem modificar a dosagem da água, aumenta a trabalhabilidade, ou que produz simultaneamente os dois efeitos.
Adjuvante redutor de água de alta gama/superplastificante	Adjuvante que, sem afectar a trabalhabilidade, permite uma alta redução da dosagem de água de uma dada mistura, ou que, sem modificar a trabalhabilidade, ou que produz os dois efeitos simultaneamente.
Adjuvante retentor de água	Adjuvante que reduz a perda de água através de redução da exsudação
Adjuvante introdutor de ar	Adjuvante que permite incorporar durante a operação de amassadura uma quantidade controlada de microbolhas de ar uniformemente distribuída e mantê-la após endurecimento.
Adjuvante acelerador de presa	Adjuvante que permite diminuir o tempo de transição do estado plástico para o estado rígido do betão.
Adjuvante acelerador de endurecimento	Adjuvante que acelera o desenvolvimento das resistências iniciais no betão, afectando ou não o tempo de presa.
Adjuvante retardador de presa	Adjuvante que prolonga o tempo de transição do estado plástico para o estado rígido do betão.
Adjuvante hidrófugo	Adjuvante que reduz a absorção capilar do betão endurecido.

Fonte: LNEC E 374 (1993)

## 1.4 Propriedades do betão

Para o estudo de um betão, deve-se levar em conta um conjunto de informações e características fundamentais que irão influenciar a sua qualidade própria, como material de construção e, conseqüentemente, o seu desempenho.

O ciclo da vida do betão ocorre em duas fases distintas: **betão fresco** e **betão endurecido**, ambas com propriedades específicas.

São várias as propriedades que o betão possui destacando entre elas a trabalhabilidade, resistência mecânica e a durabilidade, três condicionantes que definem a qualidade, o betão em si. Evidentemente, essas propriedades dependem de outros factores, em especial, dos materiais constituintes (suas propriedades e características individuais, das suas proporções de mistura, etc.), do tipo da obra e do meio de aplicação, etc.

#### 1.4.1 Betão fresco

A seleção dos materiais e a sua dosagem devem ser bem realizadas, a ponto de alcançar um betão o mais compacto possível, que permita a ausência de segregação e possua a plasticidade suficiente para a execução, pois esses são requisitos essenciais que o betão fresco deve respeitar.

São várias as propriedades que fazem parte do estado fresco, como: textura, consistência, integridade da massa (segregação), poder de retenção de massa (exsudação), massa específica e trabalhabilidade, todas elas interligadas uma às, outras, sendo a **trabalhabilidade** a principal e a mais importante do betão fresco.

Sendo uma propriedade reconhecida pela sua maior ou menor habilidade, para ser empregado com certa facilidade sem perder a sua homogeneidade, a trabalhabilidade é caracterizada pela medida da consistência do betão através de vários processos como ensaio de abaixamento (Capítulo 3, secção 1.5.1.1), ensaio Vêbê, ensaio de espalhamento e ensaio de compactação sendo correntemente mais utilizado o ensaio de abaixamento. Todos esses ensaios estão especificados na NP EN 206-1.



Tabela 11 – Valores dos parâmetros de que dependem a trabalhabilidade

Trabalhabilidade	Meios de compactação que se pode empregar	Valores de A			Valores de B
		Natureza dos inertes			
		Areia rolada	Areia britada		
		Inerte grosso rolada	Inerte grosso britado		
Terra húmida	Vibração muito potente e possível compressão	≤ 18	≤ 19	≤ 20	1
Seca	Vibração potente	20 a 21	21 a 22	22 a 23	1 a 1,5
Plástica	Vibração média	21 a 22	23 a 24	25 a 26	1,5
Mole	Apiloamento	28		32	2
Fluída	Espalhamento e compactação próprio	32	34	38	2

Fonte: Martins, A. (2011)

Tabela 12 – Factores que afectam a trabalhabilidade

Factores internos	Factores externos
Consistência	Mistura
Traço do betão	Transporte
Granulometria do betão	Lançamento
Forma do grão do inerte	Adensamento
Aditivos	Características da peça

Fonte: [Autor]

#### 1.4.2 Betão endurecido

São várias as propriedades mecânicas que se podem encontrar no estado endurecido: a resistência mecânica, módulo de elasticidade, permeabilidade, absorção, durabilidade, assumindo maior protagonismo a **durabilidade** e a **resistência mecânica** que é sem dúvida umas das propriedades mais importantes do betão, sendo avaliada pelos seus esforços de compressão, tracção e flexão.

Visto que a resistência à compressão é, em geral, a propriedade mais importante de todas as propriedades atribuídas ao betão endurecido [NP EN 12390-3], existem casos particulares em que outras propriedades como a resistência à tracção, ao desgaste, aos elementos agressivos, retracção, fluência, impermeabilidade, apresentam-se como mais importantes.

A verificação da resistência à compressão é obtida a partir de corpos de prova cilíndricos, de 150 mm de diâmetro por 300 mm de altura ( $f_{ck,cyl}$ ), ou a partir de corpos de prova cúbicos de 150 mm de aresta ( $f_{ck,cube}$ ). A idade normal do betão, para os ensaios de rotura de compressão ( $f_c$ ) é de 28 dias.

Tabela 13 – Rotura de compressão para idades do betão a partir do tipo de cimento

Tipo de cimento	% da resistência em 365 dias, para idades de:				
	3	6	28	90	365
Portland comum	38	58	81	90	100
Alta resistência inicial	50	65	83	93	100
Moderada resistência aos sulfatos	35	51	77	93	100
Baixo calor de hidratação	16	28	58	92	100

Fonte: Moraes (2012)

#### 1.4.2.1 Factores que influenciam a resistência mecânica do betão

- Matérias constituintes;
  - O cimento (natureza e dosagem);
  - Os inertes (granulometria, geometria, origem, massa volúmica, composição mineralogia, porosidade, impureza, etc.);
  - Relação água/cimento (propriedades físicas e químicas);
  - O volume de ar incorporado no betão.
- Trabalhabilidade;
- Cura;
- Idade;
- Métodos de ensaio;
- Compactação e vibração.

Durante muito tempo a resistência à compressão era o único requisito de qualidade do betão desejado pelos engenheiros. Como tal, assistiu-se a uma degradação mais acelerada das estruturas de betão armado, e a **durabilidade** passou a ser a par da resistência mecânica, uma propriedade muito importante, principalmente, quando se fala da qualidade do betão. Profundamente, ligada à qualidade do betão, a durabilidade pode ser definida como a capacidade que o betão tem em resistir à acção dos agentes ambientais, ataques químicos,

abrasão, ou qualquer outro processo de deterioração, de proteger as armaduras, adequadamente, durante o tempo de vida útil previsto.

A qualidade dos materiais, a quantidade e composição do cimento, o controle da relação A/C, a compactação, a cura, o recobrimento das armaduras, o dimensionamento do betão em função da exposição, são parâmetros fundamentais para alcançar um betão durável.

Segundo Coutinho, citado por Martins, J. (2010, p.28), uma estrutura de betão durável deverá ser capaz de manter o seu desempenho previsto, durante a vida útil. Contudo, uma estrutura pode ser durável num determinado ambiente, mas não o ser noutro, pelo que importa especificar essa durabilidade em função do ambiente a que esta se destina a ser exposta. Tanto mais que, em diferentes ambientes e na presença de diferentes agentes agressivos, estes podem afectar o betão por diferentes, mecanismos de transporte, nomeadamente por permeabilidade, difusão ou capilaridade, os quais podem actuar isoladamente ou não.

Tabela 14 – Classes de exposição relacionadas com as acções ambientais

Designação da classe	Descrição do ambiente	Exemplos informativos onde podem ocorrer as classes de exposição
<b>1 – Sem risco de corrosão ou ataque</b>		
X0	Para betão não armado e sem metais embebidos: todas as exposições, excepto ao gelo/degelo, à abrasão ou ataque químico. Para betão armado ou c/ metais embebidos: ambiente muito seco.	Betão no interior de edifícios com muito baixa humidade de ar
<b>2 – Corrosão induzida por carbonatação</b>		
Quando o betão, armado ou contendo outros metais embebidos, se encontrar exposto ao ar e à humidade, a exposição ambiental deve ser classificada como se segue:		
XC1	Seco ou permanentemente húmido	Betão no interior de edifícios c/ baixa humidade do ar; Betão permanentemente submerso em água.
XC2	Húmido, raramente seco	Superfícies de betão sujeitas a longos períodos de contacto c/ água; Muitas fundações.
XC3	Moderadamente húmido	Betão no interior de edifícios c/ moderada ou elevada humidade de ar; Betão no exterior protegido da chuva.
XC4	Ciclicamente húmido e seco	Superfícies de betão sujeitas ao contacto c/ a água, fora ao âmbito da classe XC2

(continua)

Tabela 14 - Classes de exposição relacionadas com as acções ambientais (continuação)

Designação da classe	Descrição do ambiente	Exemplos informativos onde podem ocorrer as classes de exposição
<b>3 – Corrosão induzida por cloretos não provenientes da água do mar</b>		
Quando o betão armado ou contendo outros metais embebidos se encontrar em contacto c/ água, que não água do mar, contendo cloretos, incluindo sais descongelantes, a exposição ambiental deve ser classificada como se segue:		
XD1	Moderadamente húmido	Superfícies de betão expostas a cloretos transportados pelo ar
XD2	Húmido, raramente seco	Piscinas; Betão expostos a água industriais contendo cloretos
XD3	Cíclicamente húmido e seco	Partes de pontes expostas a salpicos de água contendo cloretos; Pavimentos; lajes de parques de estacionamento de automóveis
<b>4 – Corrosão induzida por cloretos da água do mar</b>		
Quando o betão armado ou contendo outros metais embebidos se encontrar em contacto c/ cloretos provenientes da água do mar ou exposto ao ar transportando sais marinhos, a exposição ambiental deve ser classificada como se segue:		
XS1	Ar transportando sais marinhos mas s/ contacto directo c/ água do mar	Estruturas na zona costeira ou na sua proximidade
XS2	Submerso permanente	Partes de estruturas marítimas
XS3	Zonas de marés, de rebentação ou de salpicos	Partes de estruturas marítimas
<b>5 – Ataque pelo gelo/degelo com ou sem produtos descongelantes</b>		
Quando o betão, enquanto húmido, se encontrar expostos a um significativo ataque por ciclos de gelo/degelo, a exposição ambiental deve ser classificada como se segue:		
XF1	Moderadamente saturado de água, s/ produtos descongelantes	Superfícies verticais de betão expostas à chuva e ao gelo
XF2	Moderadamente saturado de água, c/ produtos descongelantes	Superfícies verticais de betão de estruturas rodoviárias expostas ao gelo e a produtos descongelantes transportados pelo ar
XF3	Fortemente saturado, s/ produtos descongelantes	Superfícies horizontais de betão expostas à chuva e ao gelo
XF4	Fortemente saturado, c/ produtos descongelantes	Superfícies de betão expostas ao gelo e a salpicos de água contendo produtos descongelantes; Zona das estruturas marítimas expostas à rebentação e ao gelo

(continua)

Tabela 14 - Classes de exposição relacionadas com as acções ambientais (continuação)

Designação da classe	Descrição do ambiente	Exemplos informativos onde podem ocorrer as classes de exposição
<b>6 – Ataque químico*</b>		
Quando o betão se encontrar exposto ao ataque químico proveniente de solos naturais e de águas subterrâneas, a exposição ambiental deve ser classificada como estabelecido abaixo. A classificação da água do mar depende da localização geográfica, aplicando-se assim a classificação válida no local de utilização do betão.		
XA1	Ligeiramente agressivo	
XA2	Moderadamente agressivo	
XA3	Fortemente agressivo	
*Os ambientes quimicamente agressivos estão classificados na ISO 9690. Podem ser utilizados as condições equivalentes a exposição que a seguir se indicam:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Classe de exposição XA1: classificação ISO A1G, A1L, A1S</li> <li>▪ Classe de exposição XA2: classificação ISO A2G, A2L, A2S</li> <li>▪ Classe de exposição XA3: classificação ISO A3G, A3L, A3S</li> </ul>		

**Fonte:** NP EN 206-1 (2007)

## 1.5 Classificação do betão

Para se ter um betão com os melhores e exigíveis níveis de qualidade, temos de atender ao cumprimento estabelecido no RBLH e NP EN 206-1 em termos de concepção, materiais e produtos constituintes, execução e ensaios.

Sendo o betão é um material que se destaca pela sua versatilidade, é aplicado em várias vertentes, fazendo-o ser o material mais utilizado no fabrico de estruturas.

### 1.5.1 Classificação normativa

A figura 7 ilustra as relações entre a EN 206-1 e as normas em vigor relativas à concepção, materiais constituintes, execução e ensaios de betão.

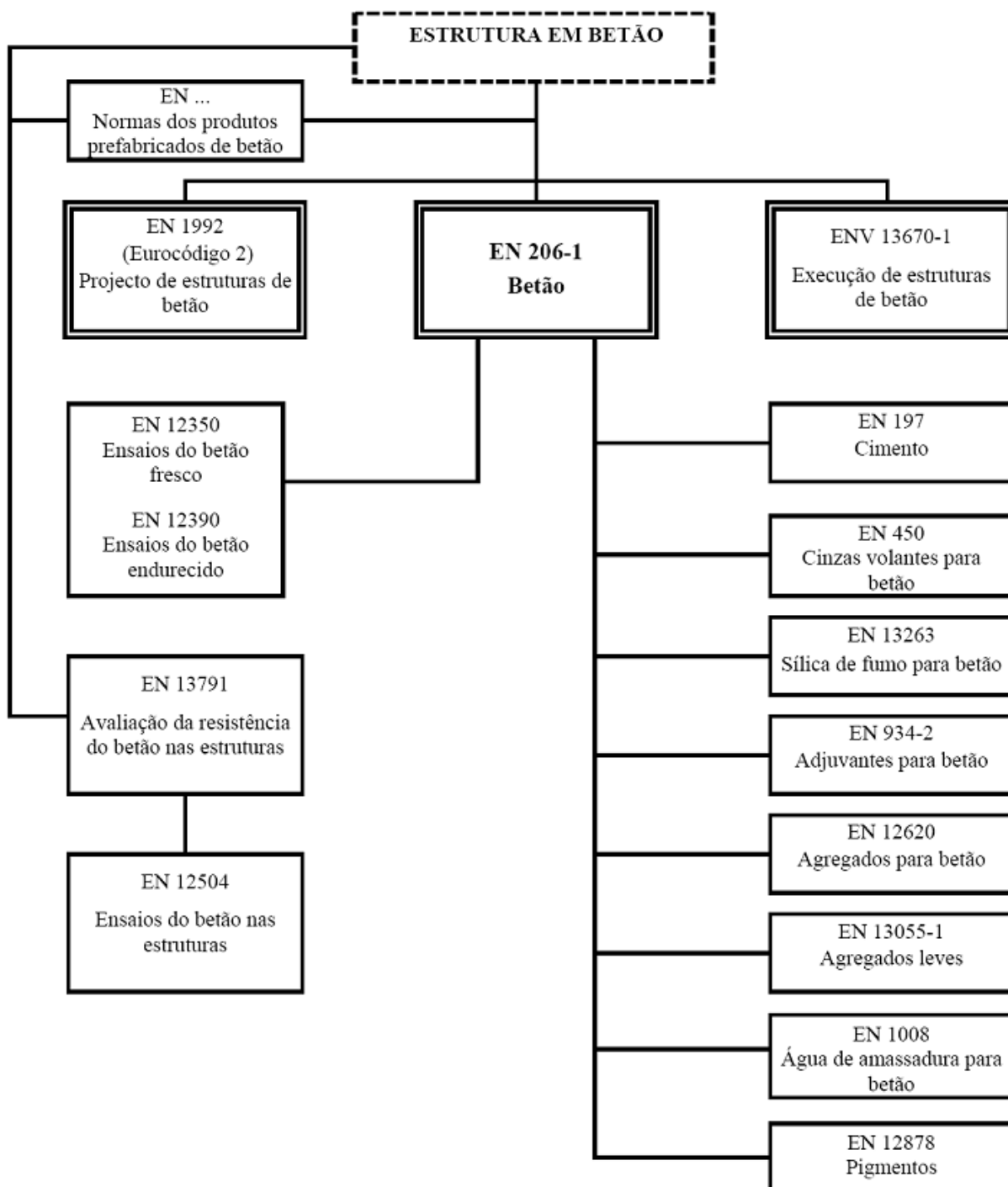


Figura 4 – Relações entre a EN 206-1 e as normas para a concepção e para a execução, as normas dos materiais constituinte e as normas de ensaios

Fonte: NP EN 206-1 (2007)

### 1.5.2 Classificação segundo a NP EN 206-1

Segundo o Decreto-Lei nº 301/2007, de 23 de Agosto de 2007, tornou-se obrigatório o cumprimento da NP EN 206-1 para a produção do betão em consequência da revisão da NP ENV (1993), face aos desenvolvimentos tecnológicos constatados ultimamente.

Na presente norma a classificação do betão é feita em dois estados: estado fresco e estado endurecido.

#### *1.5.2.1 Betão fresco*

##### *1.5.2.1.1 Classes de consistência*

De acordo com a norma NP EN 206-1 (2007), a consistência não é classificada, mas pode ser especificada através de uma classe ou, em casos especiais, através de um valor pretendido, tendo em consideração o método de ensaio mais adequado:

- Ensaio de abaixamento, de acordo com a EN 12350-2;
- Ensaio de Vêbê, de acordo com a EN 12350-3;
- Ensaio de compactibilidade, de acordo com a EN 12350-4;
- Ensaio de espalhamento, de acordo com a EN 12350-5.

Atendendo à falta de sensibilidade dos métodos de ensaio, superados certos valores da consistência, é recomendada a utilização dos ensaios indicados para:

- Abaixamento:  $\geq 10$  mm e  $\leq 210$  mm;
- Tempo Vêbê:  $\leq 30$  s e  $> 5$  s;
- Grau de compactibilidade:  $\geq 1,04$  e  $< 1,46$ ;
- Diâmetro do espalhamento:  $> 340$  mm e  $\leq 620$  mm.

Tabela 15 – Tolerâncias para valores pretendidos da consistência

<b>Abaixamento</b>			
Valor pretendido (mm)	$\leq 40$	50 a 90	$\geq 100$
Tolerância (mm)	$\pm 10$	$\pm 20$	$\pm 30$
<b>Tempo Vêbê</b>			
Valor pretendido (s)	$\geq 11$	10 a 6	$\leq 5$
Tolerância (s)	$\pm 3$	$\pm 2$	$\pm 1$
<b>Grau de compactibilidade</b>			
Valor pretendido	$\geq 1,26$	1,25 a 1,11	$\leq 1,10$
Tolerância	$\pm 0,10$	$\pm 0,08$	$\pm 0,05$
<b>Diâmetro do espalhamento</b>			
Valor pretendido (mm)	Todos os valores		
Tolerância (mm)	$\pm 30$		

**Fonte:** NP EN 206-1 (2007)

#### 1.5.2.1.2 *Classes relacionadas com a máxima dimensão do inerte*

Para classificar o betão quanto à máxima dimensão do inerte, usa-se “Dmax” para a maior dimensão do inerte utilizado no betão, segundo a NP EN 12620 “agregados para betão.

Segundo a NP EN 206-1 (2007), quando é necessário determinar a máxima dimensão do agregado mais grosso do betão fresco, esta deve ser medida de acordo com a EN 933-1, para a máxima dimensão de agregado mais grosso, como definida na EN 12620, não deve ser superior à especificada.

#### 1.5.2.2 *Betão endurecido*

##### 1.5.2.2.1 *Classes de resistência à compressão*

As classes de resistência à compressão definidas pela NP EN 206-1/2007, estão indicadas na tabela 14, na qual o betão vem classificado com a letra “C” (de “*concrete*” em língua inglesa), acrescida do valor de resistência característica (mínima de rotura aos 28 dias) para provetes cilíndricos de 150 mm de diâmetro por 300 mm de altura e para provetes cúbicos de 150 mm de aresta.



Tabela 16 – Classes de resistência à compressão para betão de massa volúmica normal e para betão pesado

Classe de resistência	Provetes cilíndricos $f_{ck,cyl}$ (MPa)	Provetes cúbicos $f_{ck,cube}$ (MPa)	Classe de resistência	Provetes cilíndricos $f_{ck,cyl}$ (MPa)	Provetes cúbicos $f_{ck,cube}$ (MPa)
<b>C8/10</b>	8	10	<b>C45/55</b>	45	55
<b>C12/15</b>	12	15	<b>C50/60</b>	50	60
<b>C16/20<sup>5</sup></b>	16	20	<b>C55/67</b>	55	67
<b>C20/25</b>	20	25	<b>C60/75</b>	60	75
<b>C25/30<sup>6</sup></b>	25	30	<b>C70/85</b>	70	85
<b>C30/37<sup>7</sup></b>	30	37	<b>C80/95</b>	80	95
<b>C35/45</b>	35	45	<b>C90/105</b>	90	105
<b>C40/50</b>	40	50	<b>C100/115</b>	100	115

Fonte: NP EN 206-1 (2007)

Classe de resistência do betão utilizado na execução do Muro-Cortina (Estudo do caso)

Classe de resistência do betão utilizado na execução dos Caixotões (Estudo do caso)

Segundo **REBAP** (Art.º 13), as classes de resistência à compressão vêm especificadas pela letra “B” definindo o tipo de betão seguido pelo valor característico mínimo de tensão de rotura aos 28 dias da idade do betão como ilustra a tabela 15. São utilizados provetes cilíndricos de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura e provetes cúbicos de 20 cm de aresta, fabricados e curados conforme a especificação do LNEC E255 e ensaiados de acordo com a especificação do LNEC E226. Assim pode dizer que um B25 corresponde agora a um C20/25.

Tabela 17 – Classe de resistência do betão segundo REBAP

Classe de resistência	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55
Provetes cilíndricos, $f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
Provetes cúbicos, $f_{ck}$ (MPa)	15	20	25	30	35	40	45	50	55

Fonte: REBAP

<sup>5</sup> Classe mínima recomendada para betão simples

<sup>6</sup> Classe mínima recomendada para betão armado

<sup>7</sup> Classe mínima recomendada para betão pré-esforçado

## Capítulo 2: Estudo dos betões do Muro-Cortina e Caixotões

---

### 2.1 Introdução

Devido ao desenvolvimento que Cabo Verde está a atravessar nos últimos anos e, sendo a cidade da Praia a capital do país, onde estão concentradas as principais infraestruturas de serviços e a economia do país, houve a necessidade de ampliar e modernizar o Porto da Praia para que este acompanhasse o desenvolvimento da cidade e do país.

A obra “Expansão e Modernização do Porto da Praia”, foi dividida em 2 fases, em que na 1ª fase foram construídas novas vias de acesso ao Porto da Praia, instalações de serviços, armazéns e parques de estacionamento, e a 2ª fase da Obra teve como principais actividades a protecção do molhe e do quebra-mar e a expansão do cais 1 (cais existente).

### 2.2 Caracterização geral da obra em estudo

A obra em estudo, “Expansão e Modernização do Porto da Praia – Fase 2 (**EMPP2**) ” (fig. 5), é uma obra governamental, de grande porte. A obra é executada pelo Consórcio<sup>8</sup> e fiscalizada

---

<sup>8</sup> O Consórcio é um grupo de empresas de engenharia civil, responsável por toda a execução da obra “Expansão e Modernização do Porto da Praia – Fase 2”. As empresas que fazem parte deste grupo são: SOMAGUE, MSF e a ETERMAR, sendo a SOMAGUE, a líder e a representante do grupo.

pela Consulgal<sup>9</sup> onde as macro-actividades como execução do muro-cortina para a protecção do molhe e do quebra-mar e a execução dos caixotões para ampliação do cais 1 são as principais e as mais importantes obras. Por isso, mereceram uma especial atenção por parte da fiscalização.

As características e todo o processo construtivo das estruturas (muro-cortina e caixotão) podem ser vistos na secção 1.6 do presente capítulo.



Figura 5 – Obra do Porto da Praia – Fase 2

**Fonte:** [Autor]

### 2.2.1 Localização geográfica

O Porto da Praia fica localizado na cidade da Praia, mas concretamente na zona de Achada Grande Frente que fica a Este do Plateau (fig. 6).

---

<sup>9</sup> A Consulgal é uma empresa portuguesa de consultoria de engenharia e gestão de empreendimento e ambiente e, é a responsável pela fiscalização de toda a obra “Expansão e Modernização do Porto da Praia – Fase 2”.



Figura 6 – Localização geográfica da Obra “Expansão e Modernização do PP2”<sup>10</sup>

Fonte: [Autor, 2013]

### 2.2.2 Caracterização do meio

O local onde se desenvolveu a obra apresenta as seguintes características ambientais:

Segundo os dados recolhidos do INMG, a temperatura média do ar apresenta uma fraca amplitude térmica, com o valor médio anual a variar entre os 22 °C e os 27 °C. As médias mensais atingem os valores mínimos em Março (22,5 °C), e máximos nos meses de Setembro e Outubro (27,1 °C).

Segundo MARTINS, A. (2012, pág. 33), a orientação e localização geográfica de Cabo Verde, na rota dos ventos alísios, influenciam e caracterizam as massas de ar que penetram no arquipélago, durante todo o ano, com ventos predominantemente do nordeste no período em que não se resistam precipitações. A velocidade média anual do vento, oscila entre os 17 Km/h e os 30 Km/h. No período considerado, “*épocas das chuvas*”, que vai do mês de Julho a

---

<sup>10</sup> PP2 – Porto da Praia – Fase 2

Outubro, é o período onde a velocidade média do vento são menores, variando entre os 17 e os 19 Km/h.

No que toca a pluviometria, nos últimos anos tem-se registado fracas precipitações. O mês do Agosto, é o período onde se registam maiores precipitações (104 mm) durante todo ano. Os outros meses onde se registam precipitações são: Julho, Setembro, Outubro e Dezembro.

Em termos médios, a humidade relativa do ar em Cabo Verde, tem um excelente parâmetro na determinação do índice “conforto humano”, varia entre 60%, durante o dia, e 90%, durante a madrugada ou em períodos do céu nublado e precipitação. Os valores mais elevados ocorrem nos meses de Julho e Outubro, ultrapassando, por vezes, os 95 % (Martins, A. 2012). A humidade relativa média anual varia entre 66% e 71%, sendo, os valores mínimos (63%) e máximos (77%) correspondente ao mês de Maio e Agosto.

De acordo com os dados estatísticos referentes aos valores médios da temperatura, humidade relativa do ar, do vento e da pluviometria, em Cabo Verde, pode dizer que a obra fica inserida com temperatura média ao longo do ano, de 25 °C e uma humidade relativa do ar, de 60%.

Relativamente, as condições ambientais, a obra está inserida num local extremamente agressivo, uma vez que, situa-se praticamente o mar (ambiente marítimo), com ataque directo de cloretos e sais nas estruturas de betão.

## 2.3 Estudo da composição dos betões de ligante hidráulico

Para a materialização do Muro-Cortina e do Caixotão, a empresa Somague Engenharia, SA, responsável por toda a obra “**EMPP2**”, concedeu ao Laboratório de Materiais da APEB (Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto) o estudo dos betões onde a composição desenvolvida determinou nos principais requisitos apresentados na tabela 21.

Tabela 18 – Requisitos para a composição dos betões do Muro-Cortina e do Caixotão

Parâmetros	Requisitos		Normas/Documentos
Classe de resistência à compressão (MPa)	C30/37	C35/45	Requisito do Cliente NP EN 206-1:2007 LNEC E 464:2007 NP EN 12390-3:2011
Classe de exposição ambiental	XA1	XS3+XA1+XC4	NP EN 206-1:2007 LNEC E 464:2007 CIRIA C674:2010
Máxima razão água/cimento (em massa)	0,55	0,45	NP EN 206-1:2007 LNEC E 464:2007
Máxima dimensão do agregado	25 mm	25 mm	Requisito do Cliente NP EN 12620:2002/A1:2010 NP EN 933- 1:2000/A1:2005
Mínima dosagem equivalente de ligante	320 kg	340 kg	NP EN 206-1:2007 LNEC E 464:2007
Mínima dosagem de água de amassadura	-----	180 a 190 litros	Requisito APEB Mínima dosagem de água concordante com o método de moldagem utilizado
Classe de abaixamento	S2 (50 a 90) mm	VPA* (200±30) mm	NP EN 206-1:2007 NP EN 12350-2:2009 Abaixamento
Classe de teor de cloretos	Cl 1,0	Cl 0,2	NP EN 206-1:2007 Quadro 2/DNA no DNA 5.2.7
Ligante Mistura: (Cimento + Pozolana)	CEM II/B-M (L+P)	CEM II/B-M (L+P)	EN 197-1:2011 LNEC E 464:2007
Tipo de cimento e sua origem	CEM II/A-L 42,5 R Cimentos Cabo Verde	CEM II/A-L 42,5 R Cimentos Cabo Verde	EN 197-1:2011
Adição	Pozolanas naturais, provenientes de Santo Antão, CABOCEM	Pozolanas naturais, provenientes de Santo Antão, CABOCEM	NP EN 4220:2009
Tipo de betão	Betão simples	Betão armado	-----
Aplicação	MURO-CORTINA	CAIXOTÃO	-----

\* VPA – valor pretendido do abaixamento

Fonte: Consulgal

A formulação da composição do betão, a aplicar no Muro-Cortina e no Caixotão do PP2, foi efectuada com muito cuidado por parte dos serviços laboratoriais da APEB, uma vez que, as actividades de produção e betonagem se vão desenvolver em clima quente e agressivo, face a

exposição ambiental, por isso, procurou-se fazer uma composição, dentro das matérias-primas disponíveis, de características enquadráveis no clima intrínseco de Cabo Verde.

Dado que toda a estrutura do Muro-Cortina se desenvolve fora da zona da maré (classe XA1), ou quanto muito na zona da maré alta, o betão estará sujeito a um ligeiro ataque químico, nomeadamente por acção dos sulfatos, e a acção abrasiva das ondas e dos sedimentos projectados por estas.

No que toca ao betão do Caixotão, relativamente a agressividade do meio onde a estrutura se desenvolve, levou-se em conta duas zonas distintas: **zona submersa** (XS2 + XA1 + XC1) e **zona de marés, de rebentação e de salpicos** (XS3 + XA1 + XC4). Apesar do coroamento dos caixotões se situar à cota +1,70 m (ZH), e da altura total ser 16,20 m, considerou-se privilegiando a durabilidade das peças em causa, que toda a estrutura estaria sujeita a uma exposição harmonizada com a classe XS3.

Relativamente à agressividade a que os dois betões estarão sujeitos, procurou-se fazer uma composição de modo a precaver as propriedades de resistência química, física e mecânicas apropriadas ao meio onde as estruturas se desenvolvem e garantir as características mínimas regulamentares relativas à acção química, de resistência à acção rápida de cloretos e, também, à acção abrasiva das ondas. A classe XA1 é prevista pelo LNEC E 464, no caso de betões não-armados e armados em contacto com a água do mar como é o caso dos betões em estudos.

Também na composição dos betões destaca-se a incorporação das pozolanas de Santo Antão, que para além de permitir a redução do calor de hidratação (característica necessária, principalmente em betonagens em massa e em clima quente) e a redução do ataque por acção dos sulfatos, prima, também, pela redução das taxas de emissão de CO<sub>2</sub> (reduzir o impacto ambiental da produção do Cimento Portland), facto esse que, não devemos estar alheio nem agora, nem futuramente, quando se trata da formulação de composição e da especificação dos betões.



## 2.3.1 Análise dos componentes dos betões

### 2.3.1.1 Agregados

É muito importante conhecer as propriedades e as características dos agregados, uma vez que, exercem uma influência directa nas propriedades e características do betão. Por isso, é crucial que os agregados sejam sujeitos a uma análise completa e detalhada antes do seu uso, para possibilitar-nos conhece-los no seu todo, das debilidades às qualidades.

Para o estudo dos betões de Muro-Cortina e Caixotão foram utilizados três tipos de areia, uma rolada e duas britadas (designadas neste estudo por areia fina rolada (fig. 7 a)), areia fina britada (pó de pedra) e areia grossa britada) e dois tipos britas de origem basáltica (designadas por brita 1 (fig. 7 b)) e brita 2 (fig. 7 c)). A areia natural é oriunda da Mauritânia e todos os inertes britados são produzidos pela Somague-CVC e são provenientes da sua pedreira localizada a cidade da Praia, ilha de Santiago.

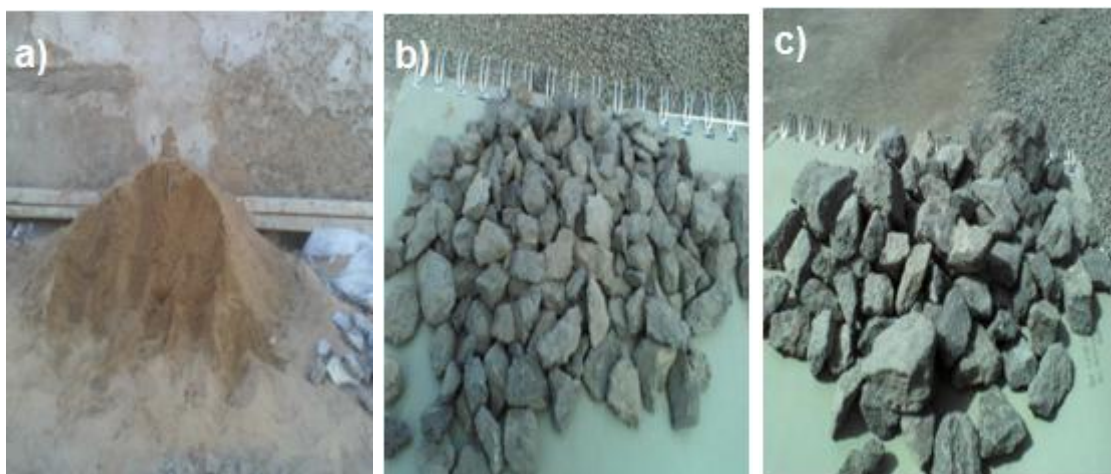


Figura 7 – Agregados utilizadas no estudo dos betões

**Fonte:** [Autor]

De forma a avaliar as características dos agregados, destinados à produção dos betões, foram analisadas as suas características geométricas, físicas e mecânicas.

Estes ensaios podem ser vistos em detalhe no apêndice A.1 e os procedimentos utilizados para a realização dos mesmos estão anexados no anexo B.1.



### 2.3.1.1.1 *Análise granulométrica*

Chama-se ensaio granulométrico à distribuição percentual dos diferentes tamanhos de grãos que compõem os agregados e é representada pela curva de distribuição granulométrica. A sua análise resume-se na passagem do material seco por uma série de peneiros normalizados, separando o material em camadas de diferentes dimensões, pesagem das parcelas obtidas e cálculo das fracções granulométricas correspondentes, permitindo conhecer as dimensões máximas e mínimas do inerte.

As análises granulométricas realizadas nos agregados para o estudo dos betões de Muro-Cortina e Caixotões foram baseadas nas especificações do LNEC E355, NP 1379 de 1976 (inertes para argamassas e betões) e NP EN 933-1.

O processo consistiu na peneiração a seco do agregado através de uma série de peneiros ASTM (fig. 8) de malha circular com aberturas normalizadas compreendidas entre 76,100 mm e 0,074 mm, pesagem das parcelas de agregado retidas em cada peneiro e cálculo das fracções granulométricas correspondentes.



Figura 8 – Series de peneiros ASTM

**Fonte:** [Autor]

Na tabela 19 estão apresentados os valores referentes à análise granulométrica dos agregados, e no gráfico 1 a representação gráfica da curva granulométrica de cada um dos agregados, sendo que no Apêndice A.1.1 estão apresentados os resultados pormenorizadamente e no Anexo B.1.1 os procedimentos utilizados na execução do respectivo ensaio.

Tabela 19 – Análise granulométrica dos agregados

Malha do Peneiro	Percentagem cumulativa do material passado (%)				
	Areia Rolada (A. Amarela)	Areia Britada (Pó de Pedra)	Areia Grossa Britada	Brita 1	Brita 2
76,100	-	-	-	-	-
50,800	-	-	-	-	-
38,100	-	-	-	-	-
25,400	-	-	-	-	100,00
19,000	-	-	-	100,00	65,93
12,700	-	-	-	86,81	5,47
9,510	-	-	100,00	61,07	0,95
4,760	100,00	100,00	99,44	9,79	0,27
2,380	99,93	97,40	5,22	0,94	0,27
1,190	99,53	68,79	1,16	0,62	0,27
0,595	78,90	36,35	0,86	0,52	0,27
0,297	49,37	19,69	0,66	0,46	0,27
0,149	15,78	7,36	0,44	0,39	0,27
0,074	0,47	1,28	0,17	0,25	0,27
m	1,56	2,69	4,92	6,26	7,32

Fonte: [Autor]

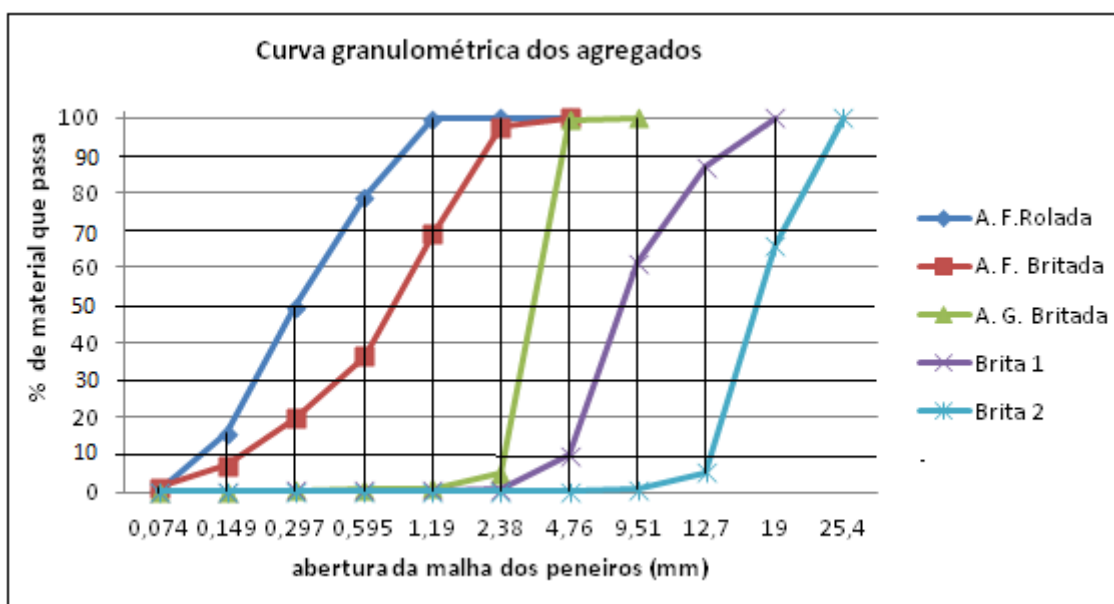


Gráfico 1 - Curvas granulométricas dos agregados

Fonte: [Autor]

Devido a análise granulométrica feita aos agregados, foi possível retirar as percentagens cumulativas do material passado nos peneiros indicados na tabela 19, as curvas granulométricas (gráf. 1) e alguns parâmetros indispensáveis na caracterização dos agregados como a *máxima dimensão* (D), *mínima dimensão* (d), *% dos finos* e *módulo de finura* (m) indicados na tabela 20. Analisando o gráfico 1 constata-se uma semelhança entre as curvas relativamente a dimensão dos grãos que constituem os agregados, pois, vê-se que não há uma variação significativa do tamanho dos grãos de cada agregado, o que os torna adequados para o estudo desses betões.

Tabela 20 – Parâmetros caracterizadores dos agregados

AGREGADOS	D	d	finos	Módulo de finura (m)
	(mm)	(mm)	%	
Areia Fina Rolada	1,19	0,074	0,5	1,56
Areia Fina Britada	2,38	0,074	1,3	2,69
Areia Grossa Britada	4,76	1,19	0,2	4,92
Brita 1	19	2,38	0,25	6,26
Brita 2	25,4	9,51	0,3	7,32

Fonte: [Autor]

Analisando a tabela 20, pode-se dizer que a máxima dimensão do agregado é de 25,4 mm e corresponde a brita 2 que por sua vez, possui também o maior módulo de finura de 7,32. Também é possível verificar que a areia fina britada possui a maior % dos finos, sendo a única a ultrapassar a barreira de 1% atingindo 1,3%.

#### 2.3.1.1.2 Determinação do teor dos finos das areias

A determinação do teor dos finos de um material é importante porque possibilita saber a plasticidade do material permitindo classifica-lo com um bom ou mau material. De acordo com o caderno de encargo um material com equivalente de areia superior a 45% pode ser classificado como um bom material, pois apresenta uma plasticidade insignificante.

Tabela 21 – Equivalente de areia das Areias

Nº de ensaios	Un.	Areia Fina Rolada	Areia Fina Britada	Areia Grossa Britada
1	0,1%	86,7	90,5	92,0
2	0,1%	85,6	88,5	93,8
<b>Média</b>	<b>%</b>	<b>86</b>	<b>90</b>	<b>93</b>

Fonte: [Autor]

Analisando a tabela 21, pode-se concluir que as areias utilizadas neste estudo apresentam uma elevada percentagem de equivalente de areia, o que as tornam qualificadas para o emprego neste estudo. Ainda constata-se que, quanto maior for a dimensão das areias, maior é equivalente de areia e menor é a plasticidade.



Provetes para equivalente de areia



Agitador de equivalente de areia

Figura 9 – Equipamentos utilizados no ensaio de equivalente de areia

Fonte: [Autor]

O ensaio de equivalente de areia foi feito de acordo com os procedimentos do Anexo B.1.2 e os resultados do ensaio pode ser visto em pormenor no Apêndice A.1.2.

### 2.3.1.1.3 Determinação da massa específica aparente das areias

Segundo a norma NP EN 1097- 6 (2003)<sup>11</sup>, a massa volúmica de partículas secas é a relação entre a massa de uma amostra de agregado seca em estufa e o volume que esta amostra ocupa dentro de água.

<sup>11</sup> Parte 6 “Determinação da massa volúmica e da absorção de água

Tabela 22 – Massa específica aparente das areias

Nº de ensaios	Un.	Areia Fina Rolada	Areia Fina Britada	Areia Grossa Britada
1	g/cm <sup>3</sup>	2,67	2,94	2,96
2	g/cm <sup>3</sup>	2,73	2,96	2,94
<b>Média</b>	g/cm <sup>3</sup>	<b>2,70</b>	<b>2,95</b>	<b>2,95</b>

Fonte: [Autor]

Perante os ensaios feitos a partir do frasco de Chapam (fig. 10) a cada areia e de acordo com os resultados obtidos em média, conclui-se que as areias são normais segundo a massa volúmica (tab. 1), e extradenso quanto a baridade (tab. 2).



Figura 10 – Frasco de Chapam

Fonte: [Autor]

#### 2.3.1.1.4 *Peso específico e absorção de água das britas*

Determinar o peso específico e absorção de água dos agregados, permite saber a quantidade de água que o agregado absorve, para que se possa reajustar a relação A/C no betão, caso seja necessário.

A absorção pode ser definida como a relação entre a perda de massa determinada no estado de superfície saturada seca e a massa de amostra seca, em percentagem.

Na tabela 23 estão os valores referentes ao peso específico e absorção de água da Brita 1 e 2. No Apêndice A.1.4, pode-se ver os resultados, em pormenor, dos ensaios realizados nas britas e todos os procedimentos dos ensaios estão no Anexo B.1.4.

Tabela 23 – Peso específico e absorção de água das britas

Temperatura de água (26 °C)		<b>Brita 1</b>	<b>Brita 2</b>
Peso específico das partículas secas	gr./cm <sup>3</sup>	2,772	2,843
Peso específico do material impermeável das partículas	gr./cm <sup>3</sup>	3,044	3,041
Peso específico das partículas saturadas c/ a superfície seca	gr./cm <sup>3</sup>	2,861	2,908
Absorção	0,01%	<b>3.208</b>	<b>2,284</b>

**Fonte:** [Autor]

Perante os resultados obtidos, e de acordo com a tabela 4 “Características e verificação da conformidade dos agregados para betão”, as britas 1 e 2 estão dentro do limite de conformidade dos agregados para betão, sendo que a brita 1 possui uma capacidade de absorção de aproximadamente 3,2% e a brita 2 de 2,3%.

#### 2.3.1.1.5 *Índice de lamelação e alongamento*

A determinação de índice de lamelação permite classificar as partículas de agregados como partículas lamelares, isto é, quando têm uma espessura menor que 0,6 do seu tamanho nominal, sendo este tamanho como média das dimensões das aberturas dos peneiros limites usados para determinar o tamanho de fracção no qual a partícula ocorre.



Figura 11 – Medidor de espessura (em mm)

**Fonte:** [Autor]

O índice de alongamento é um método baseado na classificação das partículas de agregados como alongados, sempre que tenham um comprimento igual ou superior a 1,8 mm do seu tamanho nominal, tornando-se este tamanho como média das dimensões das aberturas dos peneiros limites usados para determinar o tamanho da fracção no qual a partícula ocorre.



Figura 12 – Medidor de comprimento (em mm)

**Fonte:** [Autor]

O índice de lamelação e alongamento de uma amostra de agregado é encontrado através da separação das partículas lamelares e alongadas, expressando a respectiva massa como percentagem da massa total da amostra ensaiada. Este ensaio não é aplicável a material que passa no peneiro de 6,3 (1/4") ASTM ou fica retido no de 50,00 mm ("2") ASTM.

Tabela 24 – Índice de Lamelação e Alongamento das britas

Índice	Formulação	Un.	Brita 1	Brita 2
Lamelação	$IL = \sum (IA_i * Pi) / \sum Pi * 100$	%	29	16
Alongamento	$IA = \sum (IA_i * Pi) / \sum Pi * 100$	%	28	20

**Fonte:** [Autor]

De acordo com o quadro do Anexo B.1.5, e perante os resultados apresentados na tabela 24 referentes a índice de lamelação e alongamento das britas, conclui-se que as britas satisfazem os limites para índice de lamelação e alongamento. Os resultados podem ser vistos, pormenorizadamente, no Apêndice A.1.5 e os procedimentos dos ensaios no Anexo B.1.5.



#### 2.3.1.1.6 Ensaio de desgaste “Los Angeles”

O objectivo do ensaio de desgaste é determinar a resistência ao desgaste de um material – brita – usando a máquina de “Los Angeles” (fig. 13).

Para a execução deste ensaio, foi usada a especificação E237:1970 e, podem ser vistos em detalhe no apêndice A.1.6 e os procedimentos adoptados na realização da mesma se encontra no anexo B.1.6.

Tabela 25 – Ensaio de desgaste “Los Angeles” das britas

	Un.	<b>Brita 1</b>	<b>Brita 2</b>
Classe granulométrica		C	B
Massa inicial do provete	gr	5000,00	5009,00
Massa do material passado no peneiro # 12	gr	2014,00	2211,00
Massa do material retido no peneiro # 12	gr	2986,00	2798,00
<b>Desgaste “Los Angeles”</b>	<b>%</b>	<b>40</b>	<b>44</b>

Fonte: [Autor]

Perante os resultados obtidos na tabela 25, os agregados possuem boa resistência mecânica, uma vez que, a especificação utilizada (tab. 2) estabelece que o limite máximo de desgaste de um inerte não pode ser superior a 50% para betões correntes.



Figura 13 – Máquina de ensaio de desgaste “Los Angeles”

Fonte: [Autor]



### 2.3.1.2 Ligante hidráulico

Um ligante é um produto que ganha presa e endurece, podendo aglomerar outros materiais como agregados finos e grossos, por isso, são substâncias com propriedades aglomerantes. Os ligantes podem ser **hidrófilos** que são aplicados sobretudo em argamassas e betões, onde podem ser do tipo aéreo (cal aérea, gesso) ou hidráulico (cimento, cal hidráulico) e **hidrófobos** aplicados em impermeabilizações e pavimentos como o alcatrão. Segundo Jackson, citado por Coutinho<sup>12</sup> (2006, p.28), considera duas abordagens para classificar cimentos, uma em relação à composição e a outra relativa às propriedades correspondentes ao desempenho dos cimentos.

O ligante hidráulico usado na produção dos betões é constituído pela mistura do Cimento Portland Tipo CEM II/A-L 42,5 R<sup>13</sup> (fig. 14), da empresa Cimentos de Cabo Verde, Grupo Cimpor, e de pozolanas de Santo Antão (secção 1.3.2.3.1) moídas pela empresa Cabocem. A mistura destes dois constituintes foi efectuada em proporções enquadráveis num cimento equivalente CEM II/B-M (L+P). De modo a cumprir com o prescrito na norma NP EN 197-1 e na especificação LNEC E 464, da dosagem total de pozolana empregue neste estudo (90 Kg), apenas 60 Kg serão afectados ao cálculo da máxima razão A/C. Segundo a especificação LNEC E 464, para o tipo de cimento CEM II/B-M (L+P), os requisitos dos betões estão indicados na tabela 26.

Tabela 26 – Requisitos para os betões segundo o tipo de cimento CEM II/B-M (L+P)

Características	Muro-Cortina	Caixotão
Classe	XA1	XS3
Mínima dosagem de cimento	320 kg	340 kg
Máxima razão água/cimento	0,55	0,45
Mínima classe de resistência	C30/37	C35/45

Fonte: [Autor]

<sup>12</sup> Coutinho, J. (2006) – MC2 – 1ª Parte: Ligantes e Caldas

<sup>13</sup> Anexo B.2.1 (Ficha do produto)

### 2.3.1.2.1 Cimento Portland tipo CEM II/A-L 42,5 R

Sendo um dos constituintes essenciais do betão, o cimento Portland do tipo II/A-L 42,5 R é construído pelos seguintes elementos:

- $80\% \leq \text{Clínquer} \leq 94\%$
- $6\% \leq \text{Calcário} \leq 20\%$
- Sulfato de cálcio regulador de presa



Figura 14 – Cimento Portland Tipo CEM II / A-L 42,5 R

Fonte: [Autor]

Tabela 27 – Características do Cimento Portland do Tipo CEM II/A-L 42,5 R

QUÍMICAS	FÍSICAS	MECÂNICAS
		Resistência à compressão
Sulfatos ( $\text{SO}_3$ ) $\leq 4\%$	Início de presa (min) $\geq 60$	2 dias: 20,0 MPa
Cloretos (Cl) $\leq 0,10\%$	Expansibilidade (min) $\leq 10$	28 dias: 42,5 MPa

Fonte: [Autor]

O abastecimento do cimento é feito pela empresa Cimpor através de camiões tipo cisternas e o seu armazenamento é feito através de silos ou graneis (fig. 15).

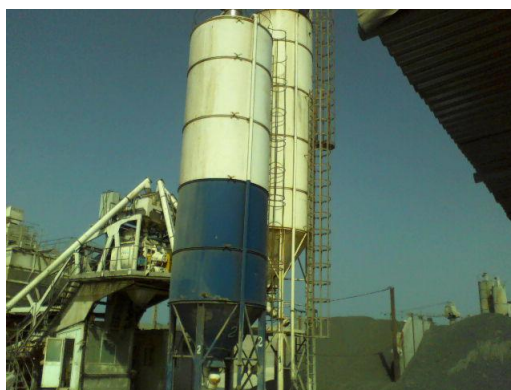


Figura 15 – Silos de armazenamento de cimentos

Fonte: [Autor]

#### 2.3.1.2.2 *Pozolanas de Santo Antão*<sup>14</sup>

Segundo Coutinho, A. (2006), a pozolana de Santo Antão (fig. 16) é um tufo vulcânico e traquítico subsaturado. A utilização de pozolanas naturais, principalmente as de Santo Antão, devido a sua excepcional qualidade que permitem a:

- Redução do calor de hidratação, sem prejuízo das resistências finais e mesmo das iniciais (no caso dos betões em estudo);
- Melhoria do desempenho dos betões, melhorando a sua durabilidade;
- Aumento das resistências finais em idades avançadas;
- Diminuição do impacto ambiental;
- Minoração do teor de hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento hidratada, melhorando a resistência à acção dos sulfatos, por diminuição da formação de sulfoaluminato expansivo;
- Redução da porosidade;
- Produção de betões economicamente mais viáveis;
- Prevenção da ocorrência de reacções sílico-alcalinas, por redução de teor de alcalis e do hidróxido de cálcio na pasta de cimento;
- Prevenção da ocorrência de reacções sulfáticas interna.



Figura 16 – Pozolana de Santo Antão de Cabo Verde

**Fonte:** [Autor]

---

<sup>14</sup> Devido ao enceramento da empresa Cabocem, distribuidora oficial das pozolanas de Santo Antão, não foi possível obter a ficha técnica do produto.

A pozolana de Santo Antão possui uma massa volúmica de  $2,16 \text{ g/cm}^3$  e uma resistência mecânica à compressão aos 28 dias de 10,5 MPa. As suas características podem ser vistos na tabela 8. Elas são distribuídas pela empresa Cabocem em “big bags” de 1000 kg (fig.17a)) e são armazenados em silos (fig. 17b)).



Figura 17 – Equipamentos de armazenamento das pozolanas

Fonte: [Autor]

### 2.3.1.3 Água

A água utilizada neste estudo (amassaduras laboratoriais) é potável e é proveniente da rede pública de abastecimentos de águas da cidade da Praia. Sendo uma água destinada ao consumo público, satisfaz as exigências normativas da NP EN 206-1: 2007. As águas destinadas à amassadura de betões devem obedecer ao preconizado na NP EN 1008: 2003.

### 2.3.1.4 Adjuvantes

Para o estudo dos betões foram utilizados adjuvantes da empresa SIKA, uma das marcas presentes no mercado português. Os adjuvantes empregados foram um plastificante retardador de presa, designado por Sikament P-190 e um superplastificante, designado comercialmente por Sika Viscocrete 3008. As principais propriedades destes produtos foram cedidas pelo fornecedor e apresentam-se na tabela 28.

Tabela 28 – Propriedades dos adjuvantes *Sika* utilizados na composição dos betões

Designação	Sika Viscocrete 3008	Sikament P-190
Base química	Solução aquosa de policarboxilatos modificados	Mistura de polímeros orgânicos e aditivos inorgânicos
Aspecto	Líquido castanho claro, levemente turvo	Líquido castanho
Massa volúmica	$1,07 \pm 0,02 \text{ kg/dm}^3$ ( $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ )	$1,22 \pm 0,03 \text{ kg/dm}^3$ ( $a + 23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ )
pH ( $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ )	$5,5 \pm 1,0$	$10,5 \pm 1,0$
Teor de sólidos	$26,5 \pm 1,3\%$	$40,0 \pm 2,0\%$
Teor de cloretos	$\leq 0,1\%$	$\leq 0,1\%$
Dosagem recomendada	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Corrente: 0,5% a 1,5% <sup>(*)</sup></li> <li>▪ Especiais: 1,5% a 2,0% <sup>(*)</sup></li> </ul>	Ver tabela 30.1

<sup>(\*)</sup> Dosagem relativo à massa de cimento

Fonte: [Autor]

A tabela 29 indica a gama de dosagens recomendada conforme o tipo de cimento e a temperatura média. Trata-se de uma indicação genérica, baseada na experiência que a empresa *Sika* tem com diversos cimentos portugueses.

Tabela 29 – Dosagem recomendada do adjuvante Sikament P-190

Gama de dosagens						
Temperatura ambiente média	Cimentos Tipo I		Cimentos Tipo II		Cimentos Tipo IV	
$^\circ\text{C}$	L/100kg cimento	% peso cimento	L/100kg <sup>15</sup> cimento	% peso cimento	L/100kg cimento	% peso cimento
10	0,3 – 0,8	0,36 – 0,96	0,3 – 0,6	0,36 – 0,72	0,3 – 0,6	0,36 – 0,72
20	0,3 – 1,0	0,36 – 1,2	0,3 – 0,8	0,36 – 0,96	0,3 – 0,7	0,36 – 0,84
30	0,5 – 1,2	0,6 – 1,44	0,5 – 1,0	0,6 – 1,2	0,4 – 1,0	0,48 – 1,2

Fonte: [Autor]

### ❖ Sika Viscocrete 3008

Sendo um redutor forte de água para betão, o Sika Viscocrete 3008<sup>16</sup> é um superplastificante isento de cloretos ou quaisquer outros elementos corrosivos para as armaduras, podendo ser usado sem restrições em betão armado e/ou betão pré-esforçado.

<sup>15</sup> A dosagem do Sikament P-190 para o Muro-Cortina e Caixotão

O Sika Viscocrete 3008 actua sobre as partículas do cimento através da adsorção superficial e efeito especial, permitindo ambos uma redução da água de amassadura ou um aumento marcado da trabalhabilidade.

**Propriedades do betão com Sika Viscocrete 3008 são:**

- Excelente manutenção de consistência, que pode atingir 3 a 4 horas à +20 °C, dependendo do tipo de cimento, da consistência inicial e da dosagem de adjuvante.
- Um nível de redução de água muito elevado, podendo atingir 20% a 30% conforme a dosagem e a composição; daqui resultam betões com forte aumento de resistência mecânicas, de compacidade elevada e de permeabilidade muito baixa.
- Um efeito plastificante intenso, permitindo obter, mesmo com forte redução de água, consistência favoráveis para uma colocação fácil.
- Um comportamento mais favorável quanto à retracção e fluência.

**❖ Sikament P-190**

O Sikament P-190<sup>17</sup> é um adjuvante plastificante/redutor de água para betão que é particularmente utilizado em todos os tipos de betões fabricados em central de betão pronto e/ou central de obra e está isento da perda de trabalhabilidade do betão quando este é transportado a longa distancia.

**Características e vantagens do adjuvante Sikament P-190**

- Pode ser usado em baixa dosagem (0,3 a 0,5 litros/100kg de cimento), como redutor de água, ou em, dosagem mais elevada (0,7 a 1,0 litros/100kg de cimento), como redutor de água mais forte.
- Permite racionalizar a produção nas centrais, fabricando diferentes tipos de betão com um só adjuvante.
- Melhora as resistências mecânicas.
- Permite obter betões com um acabamento superficial de qualidade.

---

<sup>16</sup> Ver anexo B.2.3 (Ficha do Produto)

<sup>17</sup> Ver anexo B.2.4 (Ficha do Produto)

- Melhora a impermeabilidade do betão.
- Isento de cloretos.

Para o estudo dos betões, o superplastificante Viscocrete 3008 foi utilizado numa dosagem de 0,6% para o Muro-cortina e 1,0% para o Caixotão (sobre o peso do cimento + dosagem total das pozolanas), e o Sikament P-190, plastificante retardador de presa foi utilizado na dosagem de 0,9% para Muro-Cortina e 0,3% para o Caixotão.

### 2.3.2 Formulação da composição dos betões

A formulação da composição do betão, a aplicar no Muro-Cortina e do Caixotão do PP2, foi efectuada com muito cuidado por parte dos serviços laboratoriais da APEB, uma vez que, as actividades de produção e betonagem se vão desenvolver em clima quente e agressivo, face a exposição ambiental, por isso, procurou-se fazer uma composição, dentro das matérias-primas disponíveis, de características enquadráveis no clima intrínseco de Cabo Verde.

As dosagens de cimento e dos adjuvantes utilizados neste estudo, bem como a razão água/cimento, foram baseadas na experiência da APEB em concepções de betões com materiais constituintes similares. Estes parâmetros obedecem aos requisitos para a mínima dosagem de cimento, máxima razão água/cimento e mínima classe de resistência a verificar, de acordo com as classes de exposição, indicadas na norma NP EN 206-1 e no LNEC E 464, referentes aos betões em estudo. Para o estudo dos betões utilizou-se o método de Faury, o mais utilizado em Cabo verde.

#### 2.3.2.1 *Método de Faury*

De entre várias dezenas de métodos associados à formulação de composição de betões, um dos mais generalizados, o Método de Faury é o mais utilizado devido ao seu elevado rendimento, pois permite determinar a melhor proporção de cada um dos componentes sólidos do betão, de modo que a curva real resultante se aproxime a curva de referência. O Método de Faury integra-se no grupo dos métodos baseados em curvas de referência. Apenas a genialidade de Faury e do seu mentor Albert Caquot poderiam conduzir a um método simples e eficaz.

O método de Faury tem de ter em conta os seguintes parâmetros:

- A consistência do betão;
- A forma do agregado
- O raio médio do molde e da malha onde vai ser lançado o betão;
- Efeito parede.

Neste método as percentagens dos materiais constituintes são consideradas em volumes, face a compacidade que está relacionada com o volume.

A curva granulométrica neste método é constituído por dois segmentos de recta, marcados num gráfico, cujas ordenadas são centesimais e as abcissas são proporcionais à raiz quinta da dimensão da malha do peneiro.

A abscissa do ponto de encontro dos dois segmentos de recta é  $\frac{D}{2}$  e a sua ordenada é:

$$P = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0,75} \text{ onde:}$$

**A** – parâmetro que varia com a dosagem de ligante, a forma do inerte e a trabalhabilidade requerida para o betão.

**D** – máxima dimensão do inerte do betão (**25 mm**).

**B** – parâmetro que depende da potência de compactação.

**R** – raio médio do molde (zona mais armada). Praticamente, torna-se **R/D = 1**.

Tabela 30 – Valores dos parâmetros das curvas dos betões

Parâmetros	Muro-Cortina	Caixotão
<b>A</b>	34	42
<b>B</b>	1,5	2

Fonte: [Autor]

Tabela 31 – Coordenadas das curvas de referência dos betões

	Muro-Cortina	Caixotão
<b>d</b> = 0,0063 mm	<b>Y<sub>d</sub></b> = 0%	<b>Y<sub>d</sub></b> = 0%
<b>D/2</b> = 12,5 mm	<b>Y<sub>D/2</sub></b> = 72,4%	<b>Y<sub>D/2</sub></b> = 82,4%
<b>D</b> = 25 mm	<b>Y<sub>D</sub></b> = 100%	<b>Y<sub>D</sub></b> = 100%

Fonte: [Autor]

As **curvas de Faury** dos betões e dos agregados podem ser vistos no Apêndice A.2.



### 2.3.2.2 Composição Ponderal dos betões

Na tabela seguinte estão indicadas as composições dos betões para o Muro-Cortina e para os Caixotão, estudadas no laboratório.

Tabela 32 – Resumo das composições dos betões – Estudos laboratoriais

Composição (Kg/m <sup>3</sup> )										
CEM II/B-M (L+P)		AGREGADOS					ÁGUA	ADJUVANTES		A/C
CEM II/A-L 42,5 R	Pozolana Santo Antão	Areia Fina Rolada	Areia Britada (Pó de pedra)	Areia Grossa Britada	Brita 1	Brita 2		Viskcoc. 3008	Sikam. P190	
260	90 <sup>18</sup>	440	180	165	570	650	150	2,10	3,20	0,47
375	55	440	180	210	600	410	185	4,70	1.30	0,44

Fonte: [Autor]

→ Composição do betão para o Muro-Cortina

→ Composição do betão para o Caixotão

### 2.3.2.3 Resultados das resistências mecânicas – amassaduras laboratórias

A tabela 33 indica os resultados obtidos, referentes à análise das tensões de rotura à compressão simples sobre provetes cúbicos de 150 mm de aresta, nas idades alvo de ensaio.

Tabela 33 – Resistência à compressão do betão do Muro-Cortina

Abaixamento (mm)	Resistência à compressão (MPa)			
	2 dias	7 dias	14 dias	28 dias
90	21,0	33,4	41,7	52,1
	40,3% f <sub>cm</sub> 28d	64,1% f <sub>cm</sub> 28d	80,0% f <sub>cm</sub> 28d	100%

Fonte: [Autor]

<sup>18</sup> Dos 90 kg de pozolanas, apenas 60 kg são utilizados para que a mistura do CEM com Pozolanas, verifique o CEM II/B-M (L+P), ligante ou para o cálculo de dosagem do ligante.

Observando a tabela 33, constata-se que aos 2 dias de idade, o betão do Muro-Cortina atinge uma resistência de 21 MPa correspondente a 40,3% da atingida aos 28 dias de idades, que de acordo com o Quadro 12 da NP EN 206-1 concorda com o desenvolvimento médio onde a estimativa da razão de resistências  $f_{cm,2}/f_{cm,28}$  varia de 30% a 50%. Em baixo está representado o gráfico de tensão de rotura à compressão do Muro-Cortina.

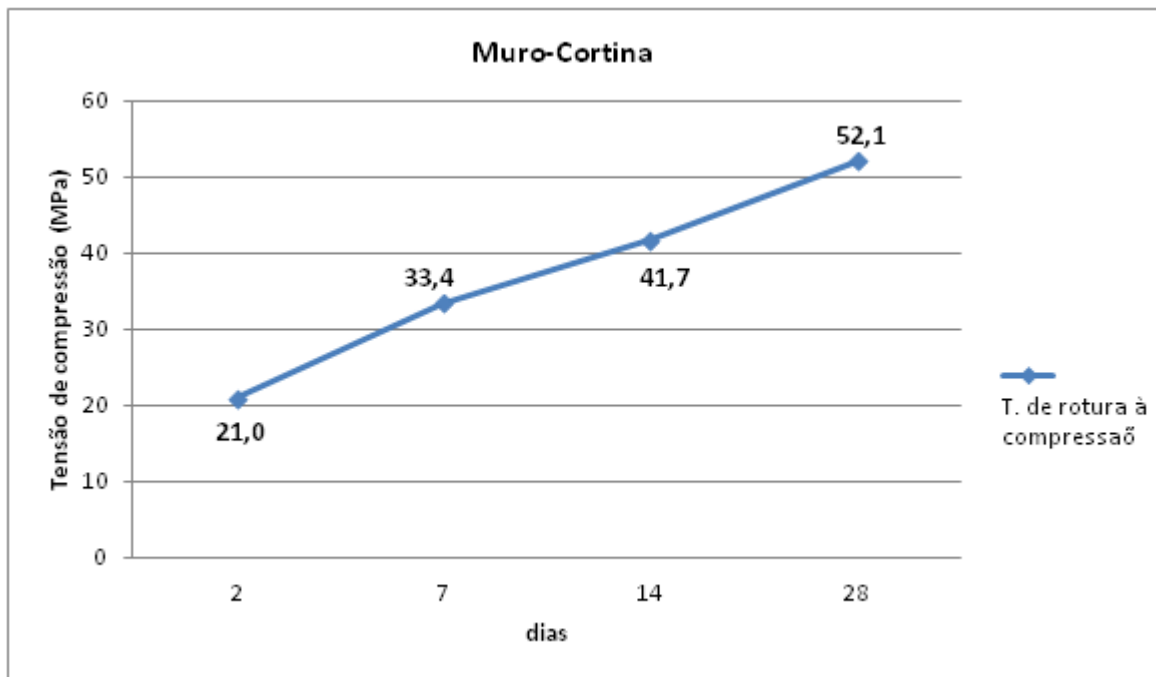


Gráfico 2 – Tensão de rotura à compressão do Muro-Cortina

Fonte: [Autor]

Tabela 34 – Resistência à compressão do betão dos Caixotões

Abaixamento (mm)	Resistência à compressão (MPa)				
	1 dia	2 dias	3 dias	7 dias	28 dias
200	22,5	37,5	41,3	48,8	60,8
	46,3% $f_{cm, 28d}$	61,7% $f_{cm, 28d}$	67,9% $f_{cm, 28d}$	80,3% $f_{cm, 28d}$	100%

Fonte: [Autor]

A razão entre resistência à compressão aos 2 dias de idade ( $f_{cm,2}$ ) e a resistência à compressão aos 28 dias ( $f_{cm,28}$ ) do betão dos Caixotões harmoniza-se com o desenvolvimento rápido, segundo o Quadro 12 da NP EN 206-1:2007. O mesmo quadro define que aos 2 dias de idade deve ser alcançada uma resistência de, no mínimo, 50% da atingida aos 28 dias e de acordo com a

tabela 34, aos 2 dias este betão possui uma resistência de 37,5 MPa que corresponde à 61,7%  $f_{cm}$  28d. O gráfico 3 indica a curva da tensão de rotura à compressão nas idades 1, 2, 3, 7 e 28 dias.

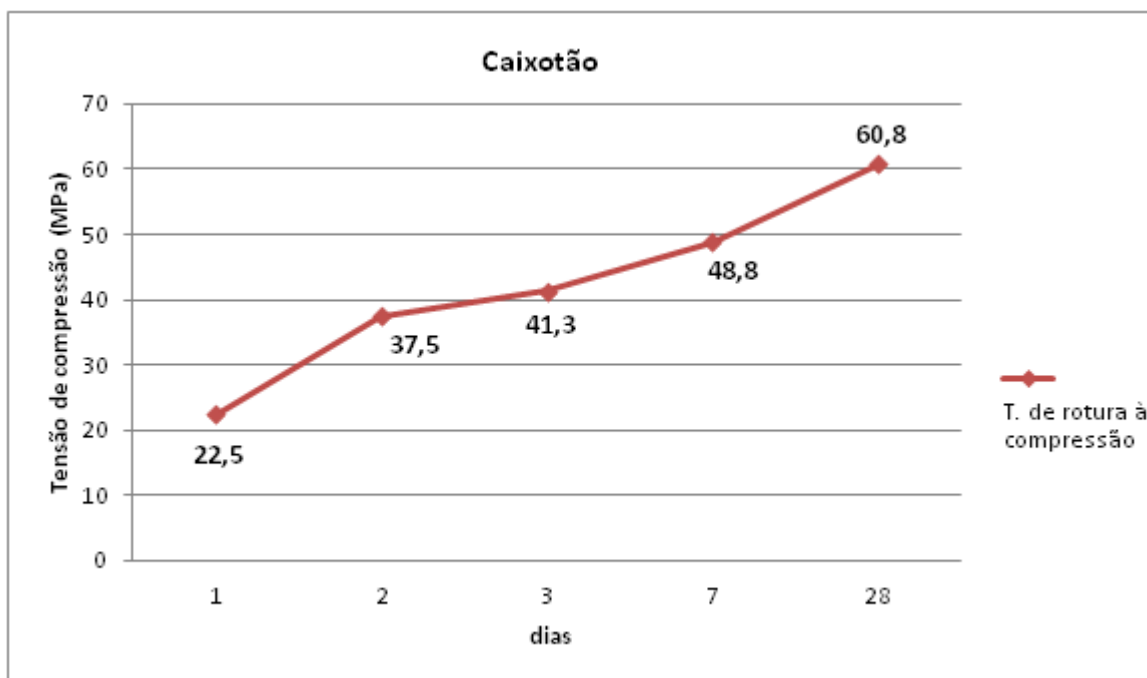


Gráfico 3 – Tensão de rotura à compressão do Caixotão

Fonte: [Autor]

As curvas da tensão de rotura à compressão apresentadas nos gráficos 2 e 3 permitem-nos não só saber a resistência aos 28 dias de idade, a partir de resultados mais jovens, como nos possibilita programar a cura, a descofragem e a movimentação das peças como é o caso destes betões.

Os ensaios para a amassaduras laboratoriais foram realizadas num ambiente de temperatura de  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  e uma humidade relativa de  $65\% \pm 5\%$  como está preconizada na Secção 7.2 da NP EN 206-1:2007.

#### 2.3.2.4 Classe de teor dos cloretos

Em relação à classe de teor de cloretos as especificações referentes ao teor dos cloretos no betão simples, armado e pré-esforçado estão presentes na NP EN 206-1 secção 5.2.7, Quadro 10.

De acordo com o mesmo quadro, para o betão simples como é o caso do Muro-Cortina a classe de teor de cloretos é Cl 1,0 e para betão armado exposto a um ambiente classificado como XS como é o caso do Caixotão, a máxima classe de teor de cloretos é Cl 0,2.

A tabela 35 apresenta a percentagem de teor dos cloretos de cada constituinte dos betões em estudo.

Tabela 35 – Teor de cloretos dos constituintes dos betões

Constituintes	Teor dos cloretos	Observações
CEM II/A-L 42,5 R	$\leq 0,1\%$	NP EN 197-1:2001
Pozolana de Santo Antão	$\leq 0,16\%$	Ficha do produto
Areia Fina Rolada	$\leq 0,03\%$	(*)
Areia Fina Britada (Pó de Pedra)	$\leq 0,03\%$	(*)
Areia Grossa Britada	$\leq 0,03\%$	(*)
Brita 1	$\leq 0,03\%$	(*)
Brita 2	$\leq 0,03\%$	(*)
Viscocrete 3008	$\leq 0,1\%$	Ficha do produto
Sikament P190	$\leq 0,1\%$	Ficha do produto
Água	0,025%	Ficha do produto

(\*) O teor dos cloretos dos constituintes dos betões fora determinado a partir de ensaios realizados nos agregados em Abril de 2011.

**Fonte:** [Autor]

## 2.4 Métodos utilizados nas etapas de produção, transporte, colocação e vibração do betão em obra

O Muro-Cortina e o Caixotão são as principais e as mais importantes obras do projecto “Expansão e Modernização do PP2”, por isso, houve uma preocupação por parte do Consórcio em executar bem todas as etapas para as suas materializações.

Para obter um produto final de qualidade, é preciso que se cumpra com eficiência e rigor todas as etapas da concepção do produto, desde da produção até ao uso do mesmo, e foi

apoiando nessa ideia, que o consórcio procurou utilizar técnicas adequadas a cada etapa para a materialização do Muro-Cortina e Caixotão.

É de salientar que as etapas para a concepção do muro e do caixotão como a produção, o transporte e a vibração do betão em obra foram as mesmas, diferenciando-se na colocação e no processo da betonagem, uma vez que, se desenvolvem em condições diferentes, o que demonstra que os betões são diferentes com características singulares.

É importante referir que durante todo o processo de materialização do Muro-Cortina e do Caixotão, principalmente no processo de betonagem, esteve sempre presente a fiscalização da para assegurar que tudo decorresse em conformidade.

#### 2.4.1 Produção

A produção dos betões realiza-se no estaleiro da obra que fica aproximadamente 2 Km do local da betonagem (fig. 6). Sendo, que os objectos a betonar são de grandes dimensões, exigindo grande quantidade de betão, foram utilizados duas centrais de betão para a produção dos mesmos. A nova central cujo modelo é ARC MOV MDE 3000 (fig. 18), tem a capacidade de produzir 30 m<sup>3</sup>/h de betão e a velha central de modelo ARCO A9000 SILVER produz 20 m<sup>3</sup>/h.



Figura 18 – Central Nova (modelo: ARC MOV MDE 3000)

**Fonte:** [Autor]

A amassadura do betão tem como fim obter uma pasta homogénea e, para que isso aconteça, deve-se respeitar as regras do caderno de encargo relativamente a introdução dos seus componentes do betão, a dosagem dos materiais<sup>19</sup> e a descarga do betão.

Relativamente a introdução dos materiais que compõem o betão, a regra diz que deve ser feita começando pela introdução dos agregados mais grossos até aos mais finos, seguido de cimento, e por fim água. Uma vez que, os betões para o muro e caixotões possuem aditivos e adjuvantes, por serem de alta resistência (dos betões), o processo de produção deu-se da seguinte forma: primeiro foram introduzidos os agregados mais grossos (brita 2 seguido de brita 1), em seguida o ligante (cimento + pozolana), depois foram introduzidas ao mesmo tempo (tipo mistura) metade de água do designado e os adjuvantes e, por fim, foi introduzido a outra metade de água que faltava. Foi utilizado uma retroescavadora para introduzir os agregados nas misturadoras semi-automáticas.

#### 2.4.1 Transporte

Existem vários métodos de transporte do betão do local de produção ao local da sua aplicação. A escolha é feita mediante a quantidade do betão, a distância entre o local da produção e da aplicação e custo económico.

Uma vez que, o local da produção e da aplicação dos betões estão separados aproximadamente por 2 Km e a quantidade a transportar é grande, utilizou camiões misturadores (fig. 19) com capacidade de transportar de 6 a 10 m<sup>3</sup> de betão. O transporte do betão do estaleiro à obra dura aproximadamente 12 minutos<sup>20</sup>. Durante a betonagem foram utilizados alguns equipamentos de transporte como retroescavadora (múltiplas funções), grua e balde de grua e autobetoneiras.

---

<sup>19</sup> As dosagens do betão foram executadas de modo que o betão levasse a consistência necessária para as condições da obra, uma vez que, durava aproximadamente 12 minutos o transporte do betão do local da produção até a obra onde fica o local da sua aplicação.

<sup>20</sup> Durante o transporte do betão é colocada água na autobetoneira para que o betão não perca a plasticidade e fluidez desejado, porque para além do trajecto central de betão-obra ser aproximadamente de 12 minutos, as vezes, é preciso esperar entre 5 a 10 minutos para a descarga do betão. O processo da colocação de água é feito pelo condutor da autobetoneira sob indicação do produtor.



Figura 19 – Autobetoneira

**Fonte:** [Autor]

#### 2.4.1 Colocação e vibração

É de realçar que todo o processo de betonagem do muro e do caixotão foi executado no local “*in situ*”. Apesar do muro e caixotão estarem inseridos no mesmo ambiente, as betonagens decorreram em condições diferentes face as funções com que foram projectados.

A colocação e a vibração do betão são duas actividades que são realizadas em simultâneo, pois, elas exercem uma influência directa na resistência e durabilidade do betão estrutural.

A vibração do betão tem como finalidade preencher todos os vazios durante a operação de colocação do mesmo, eliminando todos os espaços vazios, permitindo que o betão tenha uma boa distribuição, seja homogénea e que o elemento estrutural seja durável.

Relativamente a obra, o lançamento dos betões fez-se a partir de quatro formas, através de:

- a) Descarga directa a partir da autobetoneira;
- b) Auxílio do tapete rolante;
- c) Auxílio da grua;
- d) Bombeamento,

As três primeiras alíneas estão relacionadas com a betonagem do muro-cortina e última com a betonagem do caixotão. A vibração dos betões fez-se através de agulhas vibratórias com 35 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro.

## 2.5 Análise dos betões produzidos em obra

Todos os ensaios realizados nos betões produzidos em obra têm um objectivo e fim, sendo que o objectivo é alcançar a resistência à compressão aos 28 dias estabelecida pelo cliente e o fim é que esse betão apresente uma durabilidade desejada e estabelecida pelo cliente. Porém para que estes sejam alcançados, o betão é sujeito a vários ensaios desde do seu estado fresco até ao seu estado endurecido.

### 2.5.1 Ensaios realizados nos betões no estado fresco

Sendo a trabalhabilidade uma das principais e a mais importante propriedade do betão fresco, até hoje não é possível medi-la, porém, ela é caracterizada pela medida da consistência, outra propriedade que é analisada através de vários ensaios especificados no capítulo 1, secção 1.5.2.1.1 Para a medida da consistência e consequentemente a análise da trabalhabilidade desse betão no estado fresco apenas foi realizado o ensaio de abaixamento.

#### 2.5.1.1 Ensaio de abaixamento

Segundo a norma NP EN 12350 (2002), o ensaio de abaixamento ou *Slump test* (fig. 21), só é aplicável ao betão quando a máxima dimensão do inerte for inferior ou igual 40 mm, pois caso contrário, não é possível obter o abaixamento que varia entre os 10 mm e 200 mm.

Tabela 36 – Classes de abaixamento

Classe	Abaixamento (mm)
S1	10 a 40
S2	50 a 90
S3	100 a 150
S4	160 a 210
S5	≥ 220

Fonte: [Autor]



O betão fresco é compactado no interior do molde (fig. 20), em seguida o cone é removido subindo-o, o abaixamento estabelece a medida da sua consistência. Se um minuto após a desmoldagem a abaixamento continuar a variar, este ensaio é inadequado à medição da consistência.



Figura 20 – Cone de Abrans

Fonte: [Autor]

Os procedimentos de ensaio utilizados na realização deste ensaio podem ser vistos, em detalhe, no Anexo B.1.7.



Figura 21 – Ensaio de abaixamento realizado em obra

Fonte: [Autor]

Tabela 37 – Resultados do “Slump test” dos elementos estruturais do Muro-Cortina e do Caixotão

Muro-Cortina				Caixotão	
Elemento Estrutural	Slump	Elemento estrutural	Slump	Elemento Estrutural	Slump
Sapata 24	80 mm	Muro 24	90 mm	Caixotão 9	216 mm
Sapata 25	90 mm	Muro 25	65 mm	Caixotão 10	205 mm
Sapata 26	90 mm	Muro 26	70 mm	Caixotão 11	194 mm
Sapata 27	60 mm	Muro 27	80 mm	Caixotão 12	209 mm
Sapata 28	80 mm	Muro 28	80 mm	Caixotão 13	207 mm

Fonte: [Autor]

Perante os valores obtidos e apresentados na tabela 37 referentes aos resultados do “*Slump test*” de alguns elementos estruturais do Muro-Cortina e do Caixotão, conclui-se que, os resultados obtidos estão em conformidade com o especificado para a classe de abaixamento requisitado para a materialização do Muro-Cortina e do Caixotão como mostra a tabela 18.

## 2.5.2 Ensaio realizados nos betões no estado endurecido

Como já foi dito anteriormente, de todas as propriedades mecânicas que se pode encontrar no betão endurecido, a **resistência mecânica**, em geral, é a mais importante de todas, principalmente neste caso em que o betão é exposto à carga constantemente. São vários os métodos utilizados para determinar a tensão de rotura, sendo a resistência à compressão o método mais comum e utilizado na fase de construção.

### 2.5.2.1 Resistência à compressão

A determinação da tensão de rotura à compressão deu-se através do rebentamento dos provetes (fig. 23) e todos os procedimentos usados neste ensaio foram de acordo com o anexo B.1.8. Para o ensaio foram utilizados provetes cúbicos de 15 cm de aresta (fig. 22) e a tensão de rotura foi determinada aos 1, 3, 7 e 28 dias como mostra a tabela 38.

Tabela 38 – Valores médios da tensão de rotura à compressão do Muro-Cortina

Tensão de rotura à compressão (MPa)						
Data da betonagem			Dias			
			1	3	7	28
SAPATAS	S24	19-06-12	16,5	26,3	36,6	51,0
	S25	16-06-12	13,8	28,5	37,5	48,7
	S26	20-06-12	18,9	27,3	28,9	47,9
	S27	19-06-12	19,8	29,4	39,1	48,8
	S28	18-06-12	18,5	27,0	36,5	49,8
MUROS	M24	10-08-12	18,9	27,2	37,4	47,1
	M25	08-08-12	19,1	29,3	38,7	48,6
	M26	06-08-12	19,4	27,6	37,5	47,6
	M27	03-08-12	18,3	29,4	39,7	47,9
	M28	01-08-12	19,1	27,4	38,8	48,0

Fonte: [Autor]



Figura 22 – Provete utilizado para os ensaios

Fonte: [Autor]



Figura 23 - Rotura do provete

Fonte: [Autor]

Analisando a figura 23 pode-se ver que o betão é homogéneo porque a rotura do provete deu-se pelos vértices.

Tabela 39 – Valores médios da tensão de rotura à compressão dos Caixotões

Elemento estrutural	Data de betonagem	Valor médio da tensão de rotura aos 28 dias (MPa)
Sapata Cx. 9	27 / 07 / 12	56,9
Caixotão 9	30 / 07 à 01 / 08 / 12	54
Sapata Cx. 10	20 / 07 / 12	55,9
Caixotão 10	23 à 25 / 07 / 12	56,3
Sapata Cx. 11	13 / 07 / 12	55,7
Caixotão 11	16 à 18 / 07 / 12	56,6
Sapata Cx. 12	06 / 07 / 12	55,7
Caixotão 12	9 à 11 / 07 / 12	57,6
Sapata Cx. 13	14 / 06 / 12	56,0
Caixotão 13	2 à 4 / 07 / 12	56,1

Fonte: [Autor]

As tabelas 38 e 39 apresentam os valores médios referentes a tensão de rotura à compressão das estruturas aos 28 dias de idade. Mediante as análises, concluiu-se que os resultados obtidos estão em conformidade com o valor especificado nas tabelas 33 e 34.

## 2.6 Processo construtivo do Muro-Cortina e Caixotões

### 2.6.1 Muro-Cortina

**Muros** são estruturas corridas de contenção de parede vertical ou quase vertical, apoiadas em uma fundação rasa ou profunda. Podem ser construídos em alvenaria (tijolos ou pedras) ou em betão (simples ou armado), ou ainda, de elementos especiais.

O Muro-Cortina (fig. 24) em estudo foi construído em betão simples com a finalidade de proteger todo o molhe e o quebra-mar do PP2. Para a betonagem de 1 muro são precisos 160 m<sup>3</sup> de betão C30/37, sendo 85 m<sup>3</sup> de betão para a sapata, a que se soma com mais 75 m<sup>3</sup> do muro de elevação. São 89 muros construídos para protecção do molhe e do quebra-mar, do Porto da Praia. Foram precisos 14.240 m<sup>3</sup> no total para as betonagens.

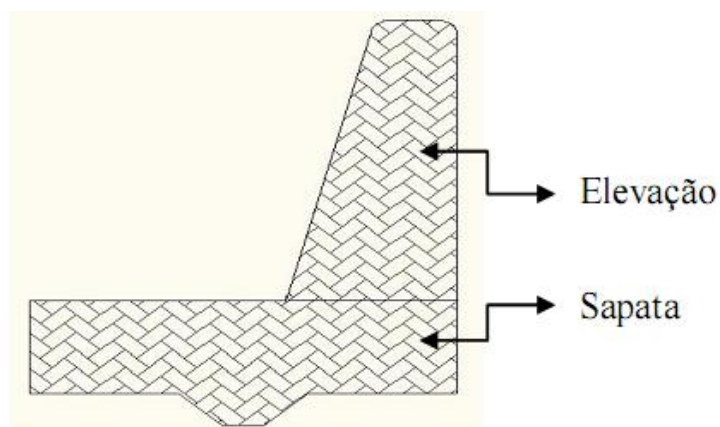


Figura 24 – Muro-Cortina (projecto)

Fonte: [Autor]

#### ❖ Processo construtivo

A materialização do Muro-Cortina em obra começa, primeiramente, pela abertura da sapata de fundação que vai de acordo com as dimensões especificadas no projecto (Apêndice A.3), depois é aplicado o betão de limpeza. No dia seguinte, fez-se à montagem da cofragem da sapata e após o término, iniciou-se a betonagem (fig. 25).





Figura 25 – Montagem de cofragem do muro-cortina – sapata

Fonte: [Autor]

A betonagem da sapata fez-se através do lançamento directo do betão a partir da autobetoneira e a compactação do betão foi realizada por meio de agulhas vibratórias de potência média para que o betão tivesse uma boa redistribuição dos seus componentes, eliminando os vazios e tornando-o mais compactado possível (fig. 26). Logo, após a betonagem toda a superfície da sapata foi submetida a irrigação de água para mante-la húmida e depois fez-se o recobrimento da superfície com uma manta para proteger o betão de agentes prejudiciais, como agentes químicos (cloretos, sais), mudanças de temperatura, etc., e promover a perfeita hidratação do ligante, até atingir o endurecimento satisfatório. Esse processo evita que o betão contraia fissuras por retracção e permite maior aderência entre os componentes do betão. A elevação do muro só iniciará quando a sapata atingir a máxima resistência à compressão.

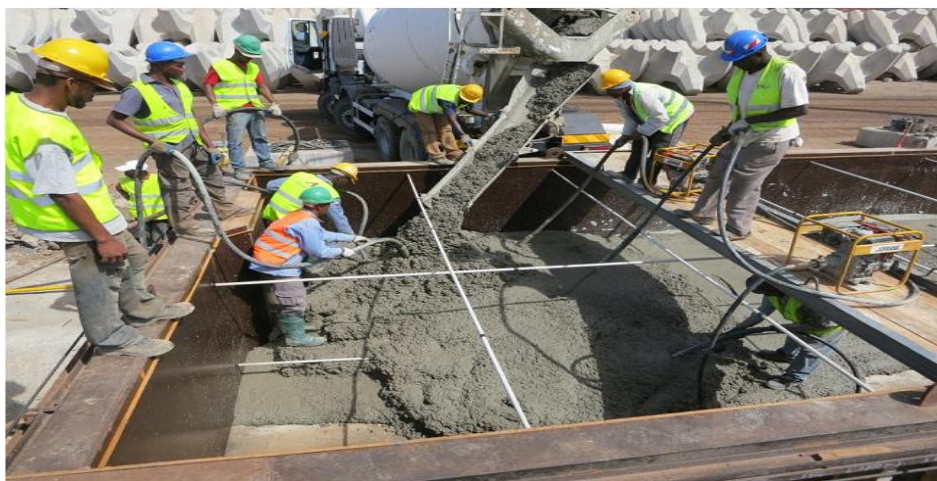


Figura 26 – Betonagem da sapata do muro-cortina

Fonte: [Autor]

Depois de a sapata ganhar o endurecimento/resistência suficiente para suportar o peso do muro de elevação, foi montado a cofragem de elevação do muro, mas antes de iniciar-se a betonagem muro-cortina – elevação, fez-se a grifagem da superfície da sapata (fig. 27) com o intuito de se obter a rugosidade de modo a garantir uma boa aderência entre sapata e o muro de elevação, uma vez que, esta se dava entre betões de idades diferentes. Para possibilitar uma boa aderência entre os dois betões aplicou-se o Sikalatex, um aditivo cuja finalidade é promover a aderência entre betões de idades diferentes.



Figura 27 – Grifagem da superfície da sapata do muro-cortina

**Fonte:** [Autor]

A betonagem da elevação do muro fez-se com o auxílio de tapete rolante (fig. 28), e após o término da betonagem, aplicou-se um geotêxtil e uma tela plástica para evitar uma evaporação da água e manter a temperatura do interior do muro, pois caso contrário pode ocorrer fissuração por retracção do betão.



Figura 28 – Betonagem do muro-cortina – elevação

**Fonte:** [Autor]



Figura 29 – Muro-Cortina construído

**Fonte:** [Autor]

### 2.6.2 Caixotões

Para a execução dos caixotões, realizou-se várias outras actividades para que essa execução decorresse em conformidade com o especificado no projecto. Dentre várias actividades realizadas destacaram-se:

- Construção dos cais provisórios (auxiliares) para a fabricação dos caixotões;
- Corte e moldagem de armaduras de aço para os caixotões;
- Drenagem da zona de assentamento do caixotão;
- Execução de prisma de fundação de caixotão – batimetria e enchimento;
- Assentamento, motorização e enchimento do caixotão.

Para a expansão do cais foram construídos 13 caixotões e 22 aduelas, sendo 11 caixotões do tipo I (fig. 30) e 2 do tipo II (fig. 31). Para a produção de cada caixotão, segundo o especificado no projecto, são necessários aproximadamente  $772 \text{ m}^3$  de betão no total, sendo  $654 \text{ m}^3$  para a betonagem das paredes a que se soma  $129 \text{ m}^3$  da laje do fundo e  $88.810 \text{ kg}$  de aço A500 NR em varão de diâmetro 12 e 16 mm, a uma taxa de  $115 \text{ kg/m}^3$ . Para a produção dos 13 caixotões foram precisos aproximadamente  $10.036 \text{ m}^3$  de betão.



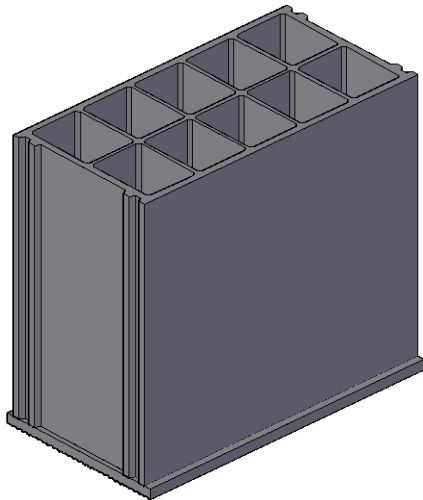


Figura 30 – Caixotão tipo I

Fonte: [Autor]

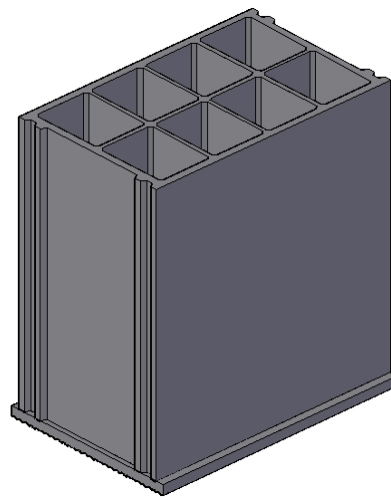


Figura 31 – Caixotão tipo II

Fonte: [Autor]

### ❖ Processo construtivo

A execução do caixotão realizou-se em duas etapas, sendo 1ª etapa a realizar-se em cima da doca flutuante e a 2ª etapa fora da doca, ou seja, no mar.

A 1ª etapa começou com a montagem da cofragem da laje de fundo e colocação das armaduras do caixotão. Após fim de tais operações, iniciou-se a betonagem da laje de 0,50 m de altura através do processo de bombagem<sup>21</sup> de betão (fig. 32).

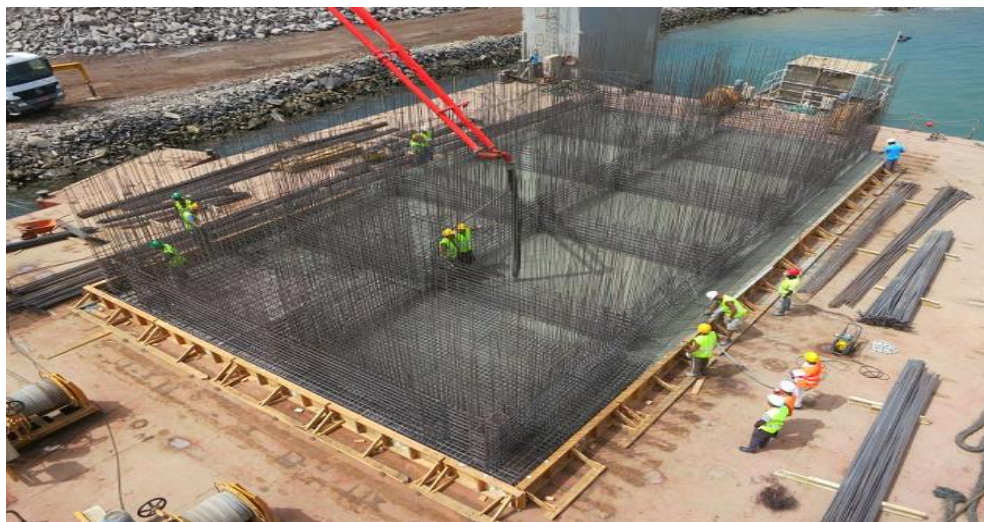


Figura 32 – Betonagem da laje do fundo do caixotão

Fonte: [Autor]

---

<sup>21</sup> Método utilizado para a betonagem dos caixotões



Após a descofragem da laje de fundo, iniciou-se a montagem da cofragem de elevação do caixotão juntamente com a aplicação dos macacos hidráulicos. A betonagem do corpo do caixotão fez-se, a partir de um processo contínuo, atingindo uma duração de aproximadamente de 70 horas (praticamente 3 dias) sem paragens. A velocidade do deslize do caixotão era de 25 cm/h, que correspondia sensivelmente à 10 m<sup>3</sup>/h de betão.

O caixotão ao atingir uma altura de aproximadamente 6,55 metros, cota que lhe assegura a flutuabilidade, fez-se o afundação da doca e iniciou a 2ª etapa que é a continuidade do deslize no mar (fig. 33). Quando atingiu a cota 15,70 metros, altura do caixotão definida no projecto (Apêndice A.4), terminou-se a betonagem e o caixotão já construído (fig. 34), permaneceu em flutuação até quando foi transportado (via rebocador) para o local onde iria ser afundado.



Figura 33 – Betonagem do caixotão – Elevação – Deslize dentro da água

Fonte: [Autor]

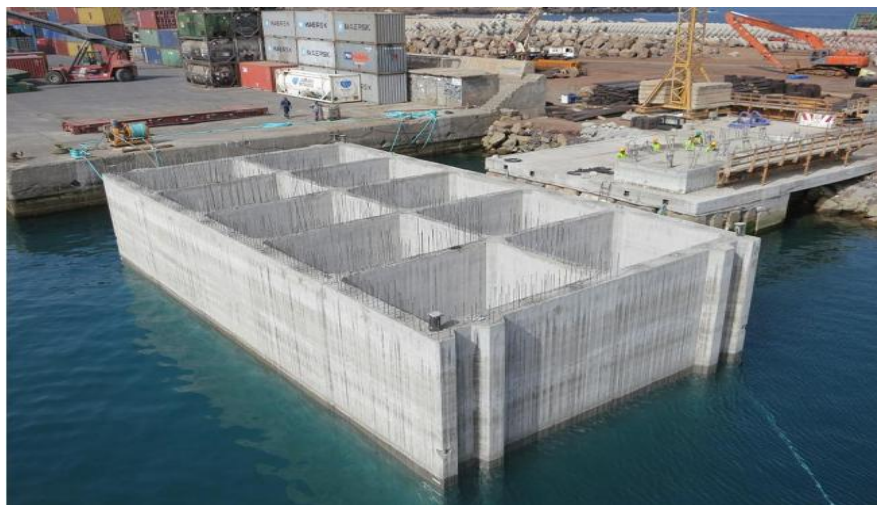


Figura 34 – Caixotão construído

**Fonte:** [Autor]

## 2.7 Durabilidade

A obra em estudo, mas concretamente as superestruturas (muro-cortina e caixotão), têm um prazo de vida útil de 50 anos. Porém, para que estas atinjam a idade prevista, procurou-se produzir um betão durável capaz de assegurar e fornecer às superestruturas a durabilidade desejada.

Segundo Andrade, citado por Ribeiro (2010, p.23), um betão durável é aquele que, quando submetido ao trabalho, durante a vida útil, possui a capacidade de resistir às intempéries, aos agentes agressores, aos processos de deterioração, mantendo sua qualidade, forma, utilidade, segurança e estabilidade. Segundo o mesmo, os cuidados e procedimentos específicos relativos à durabilidade devem ser tomadas em todas as etapas de vida da estrutura, desde a etapa de levantamento de dados para a elaboração do projecto, visando assegurar o bom desempenho da estrutura e prevenir as patologias. A durabilidade de uma estrutura está relacionada, principalmente com:

- Critérios de desempenho e de vida útil estabelecidos;
- Projecto arquitetónico, estrutural e associados (detalhes construtivos, cobrimento da armadura, deformidade da estrutura, resistência à compressão, a impermeabilidade, etc.);
- A execução da obra (qualidade dos materiais, processos de execução, etc.);
- O meio ambiente envolvente;
- O uso, os procedimentos de manutenção e o tempo.

Mediante, os resultados obtidos, análises realizadas nos betões em obra (ver anexo B.3) e execução das técnicas construtivas, constatou-se que os betões apresentam qualidade e se foram tomadas as medidas necessárias durante a vida útil das estruturas, esses betões podem ser duráveis.

## Conclusão

---

O presente trabalho consistiu numa intensa investigação que teve por base uma revisão bibliográfica sobre o betão no seu modo geral, abordando vários aspectos relativamente a sua composição, características, etc., até as etapas da sua aplicação em obra.

Após a exposição de uma forma clara e prática do trabalho realizado, principalmente dos resultados da fase de estudo de caso, apresentam-se neste ponto as seguintes conclusões extraídas.

- Existem normas e especificações bastantes inovadoras que nos permitem estudar, analisar, caracterizar e definir o betão consoante a finalidade do seu uso.
- É muito importante conhecer o meio onde se vai aplicar o betão, uma vez que, esse factor possibilita definir o tipo de betão a ser aplicado e os materiais constituintes.
- Independentemente da dimensão da obra, é aconselhável que se faça sempre o estudo do betão, da sua composição, uma vez que esse estudo permite definir e obter caso seja bem realizado a resistência, qualidade e durabilidade desejada. Também, possibilita determinar a quantidade adequada de cada constituinte do betão.

Relativamente ao estudo dos betões utilizados na execução do Muro-Cortina e dos Caixotões (estudo de caso) constata-se os seguintes aspectos:

- Os materiais utilizados na composição dos betões satisfazem todos os requisitos especificados para o estudo desses betões.
- Apesar de Cabo Verde possuir um clima agressivo face à proximidade do mar e devido a obra em estudo localizar numa zona marítima ou propriamente dizendo no mar, exposto a um ambiente extremamente agressivo com ataque directo de cloretos, foram utilizados materiais adequados e definidas as composições correctas para o caso.
- O uso das pozolanas de Santo Antão ofereceu várias vantagens aos betões e entre elas destacam-se:
  - O aumento do desempenho, da qualidade e durabilidade;
  - Aumento das resistências finais em idades avançadas;
  - A diminuição do impacto ambiental (consumo adequado do cimento Portland).
- O bom controlo de produção verificado acompanhado da boa execução das técnicas de produção, transporte, colocação, vibração e cura dos betões permitiu que as amassaduras laboratoriais estudadas e os resultados obtidos dos betões em obra chegassem em conformidade.
- Durante todo o processo de materialização do Muro-Cortina e dos Caixotões, todas as etapas foram bem executadas desde a produção dos betões até a betonagem das peças.

De todo exposto durante o presente trabalho, abordando vários tópicos, concluiu-se que a composição do betão é um processo complexo devido à dependência de diversos factores, por isso, vai estar sempre em constante análise. Contudo, espera-se que este trabalho sirva de apoio para uma investigação mais profunda sobre assunto e/ou áreas onde ele actua.

## Bibliografia

AIRES, Camões. (2006). *Betão de elevado desempenho*. Seminário de inovações em betões, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Setembro de 2006.

COUTINHO, A. De Sousa. (2006). *Fabrico e Propriedades do Betão*. Vol. I, LNEC, 4ª ed., Lisboa.

COUTINHO, J. de Sousa. (2006). *Materiais de Construção 2 – 1ª parte – Ligantes e caldas*. ed, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

CUNHA, Paulo. (2011). *Conformidades de resistência à compressão do betão*. Universidade do Minho, Maio de 2011

MARTINS, Adérito. (2012). *Betão utilizado na construção do Estado Nacional*. Monografia, Universidade de Jean Piaget de Cabo Verde, Praia, Cabo Verde.

MARTINS, João Guerra, (2010). *Materiais de Construções I – Betões*. 3ª ed.

MORAES, Mayara. (2012). *Materiais de Construção II: Propriedades mecânicas do concreto em seu estado endurecido*. Universidade Católica de Goiás de Engenharia civil.

RIBEIRO, Raquel de Macedo. (2010). *Concreto Aparente: Uma contribuição para a construção sustentável*. Monografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Fevereiro de 2010.

### ❖ Normas, Regulamentos e Especificações

Norma Portuguesa NP EN 206-1. (2007). *Betão: Especificação, Desempenho, Produção e Conformidade*. 2ª ed. IPQ. Lisboa.

Norma Portuguesa NP 2064. (1991) *Cimentos, Definições, Especificações e Critérios de Conformidade*. – 2ª ed., IPQ. Lisboa.

REBAP. (1983). Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado.

Especificação LNEC E372. (1993). Água de amassadura para betões: Características e verificação de conformidade.

Especificação LNEC E373 (1993). Inertes para argamassas e betões: Características e verificação de conformidade.

Especificação LNEC E374 (1993). Adjuvantes para betões: Características e verificação da conformidade.

## **Apêndices**

### **A Análises dos componentes dos betões**

#### **A.1 Análises dos agregados**

#### **A.2 Curvas de Faury dos betões e dos agregados**

#### **A.3 Projectos de elementos estruturais álises dos agregados**

## **Anexos**

### **B Procedimentos dos ensaios dos e ficha técnica dos componentes dos betões**

**B.1** Procedimentos dos ensaios realizados nos agregados e betões

**B.2** Ficha técnica dos componentes dos betões

**B.3** Guias de betões das estruturas